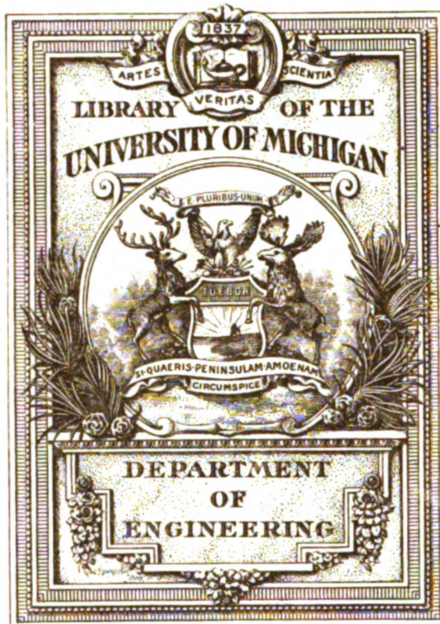
La Lumière électrique


1837
ARTES
VERITAS
SCIENTIA
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
E PLURIBUS UNUM
TUEBOR
SI QUAERIS PENINSULAM AMOENAM
CIRCUMSPICE
DEPARTMENT
OF
ENGINEERING

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

DIRECTION SCIENTIFIQUE

A. D'ARSONVAL
PROFESSEUR AU COLLÈGE DE FRANCE,
MEMBRE DE L'INSTITUT.

A. CORNU
PROFESSEUR A L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE,
MEMBRE DE L'INSTITUT.

G. LIPPMANN
PROFESSEUR A LA SORBONNE
MEMBRE DE L'INSTITUT.

D. MONNIER
PROFESSEUR A L'ÉCOLE CENTRALE
DES ARTS ET MANUFACTURES.

H. POINCARÉ
PROFESSEUR A LA SORBONNE,
MEMBRE DE L'INSTITUT.

A. POTIER
PROFESSEUR A L'ÉCOLE DES MINES,
MEMBRE DE L'INSTITUT.

A. WITZ
INGÉNIEUR DES ARTS ET MANUFACTURES,
PROFESSEUR A LA FACULTÉ LIBRE DES SCIENCES DE LILLE.

J. BLONDIN
AGRÉGÉ DE L'UNIVERSITÉ
PROFESSEUR AU COLLÈGE ROLLIN.

TOME XXIII

2e TRIMESTRE 1900

PARIS

GEORGES CARRÉ ET C. NAUD, ÉDITEURS

3, RUE RACINE, 3

Tome XXIII. Samedi 7 Avril 1900. 7e Année. — N° 14

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

LES DÉFORMATIONS ÉLECTRIQUES

DES DIÉLECTRIQUES SOLIDES ISOTROPES (1)

On sait depuis longtemps que par la charge, le volume U_1 de la cavité d'une bouteille de Leyde augmente (ΔU_1) ; un condensateur cylindrique s'allonge (Δl), etc. (2) ; ces déformations disparaissent du reste par la décharge.

Plusieurs physiciens ont étudié expérimentalement ces phénomènes : Fontana, Volpicelli, Govi, Duter, Righi, Quincke, Korteweg et Julius, Cantone.

D'autres ont essayé d'en prévoir les lois par la théorie : Moutier, Quincke, Rœntgen, Korteweg, Lorberg, Kirchoff, Vaschy, Curie, Pockels, Duhem.

Mais tous les résultats, aussi bien théoriques qu'expérimentaux, se contredisaient les uns les autres ; ainsi :

1° Les *expériences* de Duter et Righi avaient indiqué que les déformations unitaires $\frac{\Delta U_1}{U_1}$ et $\frac{\Delta l}{l}$ étaient proportionnelles au carré du potentiel de charge V^2 et à l'*inverse de l'épaisseur* $\frac{1}{e}$ du diélectrique ; — les travaux postérieurs de Quincke, Korteweg et Julius, Cantone, ont bien confirmé la proportionnalité à V^2 mais ont donné la loi de l'*inverse du carré de l'épaisseur* $\frac{1}{e^2}$?

(1) Cet article n'est qu'un *résumé* d'un assez long mémoire auquel je renvoie pour tous les détails mathématiques, bibliographiques, etc... : Thèse pour le doctorat ès sciences mathématiques : Gauthier-Villars, 1899 et qui paraîtra prochainement dans les *Annales de chimie et de physique*, 1900.

(2) Ces déformations peuvent se résumer dans l'énoncé suivant : Il y a *dilatation dans toute direction perpendiculaire aux lignes de force* ; — les expériences n'ont pas encore permis de mettre en évidence, *ni la déformation dans la direction des lignes de force*, ni la *variation de volume de la matière diélectrique* pour lesquelles la théorie prévoit du reste un ordre de grandeur beaucoup plus petit.

2° On avait tout d'abord cherché (Korteweg, Quincke) la *cause de ces phénomènes* dans les *pressions électrostatiques* exercées par les armatures sur le diélectrique et qui doivent en effet déformer élastiquement celui-ci ; mais les déformations ainsi calculées étaient beaucoup plus petites que celles observées ?

3° Enfin la *théorie de ces phénomènes* avait été abordée par deux voies différentes :

a) La plupart des auteurs qui ont fait l'étude des *pressions au sein des diélectriques solides polarisés* en ont déduit les *déformations correspondantes* (Korteweg, Lorberg, Kirchoff, Duhem).

Mais on peut trouver défectueux de faire dépendre le calcul des déformations (mesurables directement par l'expérience) de celui des pressions (inaccessibles à l'expérience) ; en outre, ces pressions sont d'un calcul laborieux, leur application à l'étude des déformations est délicate, ce qui a donné souvent lieu à des erreurs; enfin et surtout : la *polarisation des diélectriques*, base même de ces théories, est sujette à bien des controverses.

b) C'est justement pour se mettre à l'abri des critiques dont peuvent être l'objet les théories précédentes, que des essais de *théorie thermodynamique* avaient alors été tentés, dont le plus important est dû à M. Duhem et basé sur sa théorie du potentiel thermodynamique.

Mais, parmi ces essais, les uns n'avaient pas abouti, et les autres dans lesquels on n'avait abordé que les cas les plus simples et encore en faisant abstraction des variations de la constante diélectrique par les déformations, avaient conduit à des *résultats en contradiction avec ceux des théories précédentes*.

Y avait-il donc antagonisme entre les deux sortes de théories (1) ?

Voici le résumé d'un mémoire paru ailleurs et dans lequel je me suis proposé d'éclaircir ces divers points :

I. Théorie.

Dans cette première partie *j'établis les formules des déformations électriques des diélectriques solides isotropes en me basant uniquement sur les principes fondamentaux de la thermodynamique et en tenant compte*, comme cela est absolument nécessaire, *des variations qu'éprouve la constante diélectrique d'un solide primitivement isotrope lorsqu'on le déforme mécaniquement.*

Après avoir traité le *cas général* d'un condensateur fermé quelconque, je pousse le calcul à fond pour les condensateurs *sphérique*, *cylindrique* et *plan*, non seulement *infiniment minces* mais d'*épaisseurs quelconques* (2).

(1) Telle était la question qui avait été posée par M. Gurie dans un intéressant article de revue critique paru dans la *Lumière électrique*, t. XXX, p. 427, 1888.

(2) Je ne ferai qu'indiquer brièvement la marche du calcul.

Dans tout ce qui suit je désignerai par :

K la constante diélectrique de l'isolant du condensateur;

k_1 le coefficient de variation de cette constante diélectrique par une traction perpendiculaire aux lignes de force[1] ;

k_2 le coefficient de variation de cette constante diélectrique par traction parallèle aux lignes de force;

$k = 2k_1 + k_2$ le coefficient de variation de cette constante diélectrique par traction superficielle uniforme.

Quant aux coefficients élastiques de la substance diélectrique je les désignerai par :

a : coefficient d'allongement, inverse du module d'élasticité;

σ : coefficient de Poisson, rapport de la contraction latérale à l'allongement;

$\gamma = 3a(1-2\sigma)$: coefficient de compressibilité cubique.

Cas général : Soit une lame diélectrique dont les faces S_1 S_2 ont été couvertes d'une couche conductrice (infiniment mince) de manière à former un condensateur fermé; désignons par :

U_1 le volume de la cavité interne

U_2 le volume extérieur du diélectrique

(1) Au sujet de ces coefficients consulter le mémoire.

Résumé des formules. *Cas des condensateurs infiniment minces (et condensateur plan).* — L'ensemble des formules obtenues montre qu'en désignant d'une façon générale par :

$U = U_2 - U_1$ le volume de la matière diélectrique[1]. Je me propose de trouver les variations $(\Delta U)(\Delta U_1)(\Delta U_2)$

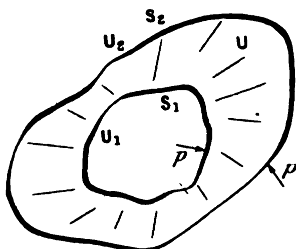


Fig. *a*.

quand on charge le condensateur à une différence de potentiel V.

Imaginons le diélectrique maintenu à température T constante et soumis à une pression s'exerçant sur les deux surfaces S_1 et S_2 (p), seulement sur S_1 (p_1) ou seulement sur S_2 (p_2) selon que l'on cherche $(\Delta U)(\Delta U_1)$ ou (ΔU_2); l'état du système sera alors fonction de deux variables : V et $(p)(p_1)$ ou (p_2) : l'application des deux principes de la thermo-dynamique et du principe de la conservation de l'électricité conduira[2] facilement aux formules suivantes où C désigne la capacité électrique du condensateur :

$$\Delta U = \left(-\frac{\partial C}{\partial p}\right)\frac{V^2}{2} \qquad (1)$$

$$\Delta U_1 = \left(\frac{\partial C}{\partial p_1}\right)\frac{V^2}{2} \qquad (2)$$

$$\Delta U_2 = \left(-\frac{\partial C}{\partial p_2}\right)\frac{V^2}{2}\,. \qquad (3)$$

Occupons-nous de la première : La capacité électrique est proportionnelle à une fonction du premier degré des dimensions géométriques et à la constante diélectrique K; quand la pression change de dp, le diélectrique reste semblable à lui-même et isotrope ; le coefficient de diminution linéaire est $\frac{\Upsilon}{3}$; quant au coefficient de variation de la constante diélectrique il est $(-k)$; on a donc $\frac{1}{C}\frac{\partial C}{\partial p} = -\frac{\Upsilon}{3} - k$ d'où:

$$(1')\ \Delta U = \left(\frac{\Upsilon}{3}+k\right)\frac{CV^2}{2} = \left(\frac{\Upsilon}{3}+k\right)W$$

W désignant l'énergie dite électrique du condensateur.

Dans le cas particulier où le diélectrique est une *lame plane ou une lame infiniment mince de forme quelconque* (Surface S. épaisseur e) cette formule se transforme encore car $C = \frac{KS}{4\pi e}$, on a donc :

$$(1'')\ \Delta U = \left(\frac{\Upsilon}{3}+k\right)\frac{K}{8\pi}\,S\,\frac{V^2}{e}$$

et comme $U = Se$

$$(1''')\ \Delta U = \left(\frac{\Upsilon}{3}+k\right)\frac{K}{8\pi}\frac{V^2}{e^2} = \left(\frac{\Upsilon}{3}+k\right)\frac{KH^2}{8\pi}$$

(H désignant l'intensité du champ dans le diélectrique.)

Cas du condensateur sphérique infiniment mince. — Soit R le rayon et e l'épaisseur supposée négligeable par rapport à R.

Nous avons ci-dessus $(1'')(1''')$ la *variation de volume de la matière diélectrique.*

Cherchons ce que deviennent dans ce cas les formules (2) (3) qui donnent la *variation de volume de la cavité* et la *variation du volume extérieur* $(\Delta U_1 = \Delta U_2)$.

Nous avons $C = \frac{KR^2}{e}$ donc

$$\frac{1}{C}\frac{\partial C}{\partial p_1} = \frac{1}{K}\frac{\partial K}{\partial p_1} + \frac{2}{R}\frac{\partial R}{\partial p_1} - \frac{1}{e}\frac{\partial e}{\partial p_1}$$

Mais les formules de déformation élastique de la sphère mince[1] donnent

$$\frac{1}{R}\frac{\partial R}{\partial p_1} = a(1-\sigma)\frac{R}{2e} \quad \frac{1}{e}\frac{\partial e}{\partial p_1} = -a\sigma\frac{R}{e}$$

et on verrait en outre facilement que $\frac{1}{K}\frac{\partial K}{\partial p_1} = \frac{R}{e}k_1$[2]

(1) J'attire l'attention sur la signification de U_1 et de U car j'ai rencontré chez plusieurs auteurs une confusion surprenante entre ΔU_1 et ΔU : ils confondent la *variation de volume de la matière diélectrique* (ΔU) qu'ils viennent d'étudier théoriquement avec la *variation de volume de la cavité* (ΔU_1) qui a été mesurée expérimentalement.

(2) Par un raisonnement calqué sur celui qui a servi à M. Lippmann (principe de la conservation de l'électricité, *Annales de physique et chimie*, 1881) pour montrer que la *dilatation électrique* du tube de Righi entraine comme *phénomène réciproque*, la *variation de capacité électrique du condensateur cylindrique par traction ;* — on trouvera ce raisonnement dans un numéro précédent (*L'Eclairage Électrique*, t. XV, p. 196, 1898) où j'ai déjà traité le cas du condensateur plan.

(1) Voir à ce sujet : Sacerdote. *Sur les déformations élastiques des vases minces* (*Journal de physique*, 3e série, t. VII, p. 516, 1898), où j'indique une manière très simple de trouver ces formules des déformations élastiques de la sphère ou du cylindre.

(2) En effet une pression p_1 s'exerçant seulement sur la surface interne de la sphère développe une sorte de tension superficielle F donnée par : $p_1 = \frac{2F}{R}$ ou $F = \frac{R}{2}p_1$ et par unité de surface : $\frac{F}{e} = \frac{R}{2e}p_1$: un élément de la sphère est donc soumis sur *tout son contour* à une traction $\frac{R}{2e}p_1$: la constante diélectrique variera donc de $2\left(\frac{R}{2e}k_1\right)$ ou $\left(\frac{R}{e}k_1\right)$.

L *la longueur d'une ligne quelconque perpendiculaire aux lignes de force ;*
e l'épaisseur du diélectrique dans la direction de ces lignes de force, on a :

$$\text{(I)} \quad \frac{\Delta L}{L} = (a + k_1)\frac{K}{8\pi} H^2 \quad \text{ou} \quad \Delta L = (a + k_1)\frac{K}{8\pi} L \frac{V^2}{e^2} \quad \text{(I')}$$

$$\text{(II)} \quad \frac{\Delta e}{e} = -\left[a(1 + 2\sigma) - k_2\right]\frac{K}{8\pi} H^2 \quad \text{ou} \quad \Delta e = -\left[a(1 + 2\sigma) - k_2\right]\frac{K}{8\pi}\frac{V^2}{e} \quad \text{(II')}$$

Et maintenant qu'il est établi (formule I) que *la dilatation est la même dans toutes les directions perpendiculaires aux lignes de force* (par exemple : pour les génératrices et pour les lignes circulaires du cylindre) *il devient évident* qu'en désignant par :

U_1 le *volume d'une cavité* (exemple : cavité d'un condensateur sphérique, cylindrique) et par U le *volume de la matière diélectrique* on a :

$$\text{(III)} \quad \frac{\Delta U_1}{U_1} = 3\left(\frac{\Delta L}{L}\right) \quad \text{et} \quad \frac{\Delta U}{U} = 2\left(\frac{\Delta L}{L}\right) + \left(\frac{\Delta e}{e}\right) \quad \text{(IV)}$$

ou en tenant compte des relations vues plus haut :

$$\text{(III')} \quad \frac{\Delta U_1}{U'} = 3\left(a + k_1\right)\frac{K}{8\pi} H^2 \quad \text{ou} \quad \Delta U_1 = 3\left(a + k_1\right)\frac{K}{8\pi} U_1 \frac{V^2}{e^2} \quad \text{(III'')}$$

$$\text{(IV')} \quad \frac{\Delta U}{U} = \left(\frac{\gamma}{3} + k\right)\frac{K}{8\pi} H^2 \quad \text{ou} \quad \Delta U = \left(\frac{\gamma}{3} + k\right)\frac{K}{8\pi} S \frac{V^2}{e} \quad \text{(IV'')}$$

Nous pouvons traduire les formules précédentes sous forme de lois, soit en les prenant sous leur forme (I) (II) (III') (IV') [*Lois des déformations unitaires*], soit en prenant les formules équivalentes (I') (II') (III'') (IV''') [*Lois des déformations*].

Lois des déformations unitaires. — *Toutes les déformations unitaires que subit le diélectrique sont proportionnelles au carré de l'intensité du champ électrique ou encore*

---

ce qui substitué dans (2) donne finalement :

$$\Delta U_1 = 3\,(a + k_1)\frac{K}{8\pi} U_1 \frac{V^2}{e^2} \text{ ou} \qquad (4)$$

$$\frac{\Delta U_1}{U} = 3\left(\frac{\Delta L}{L}\right) = 3\,(a + k_1)\,\frac{KH^2}{8\pi} \qquad (4')$$

en désignant par L la longueur d'une ligne quelconque tracée sur la sphère ou bien encore la longueur du rayon.

Enfin pour avoir la *variation d'épaisseur de la matière diélectrique*, il suffit de remarquer que :

$$U = 4\pi R^2 e$$

donc

$$\left(\frac{\Delta U}{U}\right) = 2\left(\frac{\Delta R}{R}\right) + \left(\frac{\Delta e}{e}\right)$$

d'où

$$\frac{\Delta e}{e} = -\left[a(1 + 2\sigma) - k_2\right]\frac{KH^2}{8\pi} \qquad (5')$$

$$\Delta e = -\left[a\,(1 + 2\sigma) - k_2\right]\frac{K}{8\pi}\frac{V^2}{e} \qquad (5)$$

Cas du condensateur sphérique d'épaisseur quelconque. — J'indiquerai seulement en quelques mots la marche à suivre :

On considère une tranche A sphérique infiniment mince du diélectrique ; cette tranche se déforme :

1° Parce qu'elle est soumise sur ses deux faces à des efforts différents provenant de l'action du diélectrique soit intérieur soit extérieur à A.

2° Parce qu'il existe entre ces deux faces une différence de potentiel.

La déformation due à la première cause est donnée immédiatement par les formules de déformation élastique de la sphère mince ; quant à celle due à la différence de potentiel elle est fournie par les formules de déformation du condensateur sphérique infiniment mince établies ci-dessus.

On est ainsi conduit à une équation différentielle du 2e ordre de la forme :

$$x\,\frac{d^2y}{dx^2} + A\,\frac{dy}{dx} + \frac{B}{x^5} = 0$$

facile à intégrer et dont la solution donne presque immédiatement les formules de déformation.

On traiterait de même les cas du *condensateur cylindrique* et du *condensateur plan*[1].

---

[1] Le cas simple du *condensateur plan* a été traité dans un numéro précédent. *L'Eclairage Electrique* (t. XV, p. 196, 1898).

proportionnelles au carré du potentiel et à l'inverse du carré de l'épaisseur du diélectrique, — les coefficients qui dépendent uniquement de la nature du diélectrique étant :

$(a + k_1) \frac{K}{8\pi}$ pour les variations de longueur perpendiculairement aux lignes de force, et par suite $3(a + k_1) \frac{K}{8\pi}$ pour les variations de volume des cavités ;

$-[a(1 + 2\sigma) - k_2] \frac{K}{8\pi}$ pour les variations de longueur dans la direction des lignes de force ;

$\left(\frac{\gamma}{3} + k\right)\frac{K}{8\pi}$ pour les variations de volume de la matière diélectrique.

Lois des déformations : *Première loi :* Toute ligne perpendiculaire aux lignes de force éprouve une variation de longueur proportionnelle à sa longueur, au carré du potentiel et à l'*inverse du carré* de l'épaisseur du diélectrique.

Deuxième loi : L'épaisseur du diélectrique (dans la direction du champ varie proportionnellement au carré du potentiel et à l'*inverse* de cette épaisseur.

Troisième loi : Les cavités éprouvent des variations de volume proportionnelles à leur volume, au carré du potentiel et à l'*inverse du ca ré* de l'épaisseur du diélectrique.

Quatrième loi : La matière diélectrique éprouve une variation de volume proportionnelle à la surface du condensateur, au carré du potentiel, et à l'*inverse de l'épaisseur* du diélectrique, autrement dit proportionnelle à l'énergie dite électrique du condensateur.

Cas des condensateurs d'épaisseur quelconque. — L'inspection des formules relatives à ce cas montre que :

Aucune des lois précédentes ne subsiste, sauf celle de la proportionnalité entre la grandeur des déformations et le carré du potentiel ; en particulier :

Les différentes lignes perpendiculaires aux lignes de force, appartenant soit à un même condensateur (lignes circulaires et génératrices du cylindre), soit à des condensateurs de forme ou grandeurs différentes, *subissent des dilatations unitaires inégales ;* et aussi la *relation* $\frac{\Delta U_1}{U_1} = 3\,\frac{\Delta L}{L}$ *n'est plus exacte* (sauf si U_1 et L se rapportent à un *même* condensateur de forme *sphérique*), etc.

Complément a la théorie précédente : Cas ou les armatures sont indépendantes du diélectrique. — Dans tout ce qui précède, nous avons supposé que les *armatures du condensateur subissaient les mêmes déformations que les surfaces diélectriques en contact ;* c'est ce qui arrive par exemple : lorsque les armatures sont formées par la métallisation de la surface du diélectrique lui-même (argenture, feuilles d'étain collées, etc.), ou par des liquides.

Mais que deviennent les formules dans le cas où les *armatures sont indépendantes du diélectrique* dont elles sont séparées par un intervalle d'air ou de vide, la surface et la distance des armatures restant invariables, malgré la déformation du diélectrique ; voici le résultat auquel on parvient :

Les termes des coefficients qui contiennent les coefficients élastiques (a σ) *sont complètement différents*, comme grandeur et même comme signe, *de ceux obtenus dans le cas où il y a contact entre les armatures et le diélectrique ; — au contraire les termes en* (k_1 k_2 k) *restent toujours les mêmes.*

II. Causes des déformations électriques des diélectriques k_1.

Nous diviserons cette étude en deux parties :

1° *Les déformations électriques correspondantes aux termes où n'entrent pas les coeffi-*

***

cients (k_1 k_2 k) *ne sont que les déformations élastiques dues aux forces qui s'exercent sur un diélectrique non électrisé placé dans un champ électrique, forces mises en évidence par les expériences de M. Pellat et qui ne deviennent les pressions électrostatiques que pour les portions de surface où le diélectrique est au contact des armatures* (¹).

Prenons quelques exemples : soit une *lame diélectrique plane comprise entre les armatures et non adhérentes à celles-ci* (fig. 1) ; la lame est soumise aux forces de M. Pellat (Q, q) indiquées sur la figure et qui produisent une déformation *élastique :*

$$\frac{\Delta L}{L} = \alpha (1 - \sigma) Q - \alpha\sigma q = [\alpha (1 - \sigma) (K - 1) - \alpha\sigma K (K - 1)] \frac{H^2}{8\pi}$$

et

$$\frac{\Delta e}{e} = - 2\alpha\sigma Q + \alpha q = [- 2\alpha\sigma (K - 1) + \alpha K (K - 1)] \frac{H^2}{8\pi}$$

Or ce sont bien là les formules de déformations *électriques* que donne la théorie dans ce cas.

La même vérification se ferait aussi facilement pour une *lame diélectrique plane à armatures adhérentes la couvrant entièrement sur ses deux faces* (fig. 2).

Les forces connues qui agissent alors sur la lame sont : les pressions électrostatiques $P = \frac{KH^2}{8\pi}$ et la traction sur le contour égale dans ce cas à $Q = \frac{KH^2}{8\pi}$; il en serait encore de même pour :

Une lame diélectrique sphérique à armatures adhérentes (fig. 3) : les forces agissantes se réduisent dans ce cas aux pressions électrostatiques $P = \frac{KH^2}{8\pi}$ et $P' = \frac{KH'^2}{8\pi}$.

Remarque : *C'est donc seulement dans le cas de conducteurs fermés à armatures adhérentes au diélectrique que les pressions électrostatiques sont suffisantes pour rendre compte des déformations électriques des diélectriques* (*et encore abstraction faite des termes en* (k_1 k_2 k).

2° La cause des déformations correspondantes aux termes en (k_1 k_2 k) semble être toute différente, je montre ailleurs qu'on est conduit à admettre que :

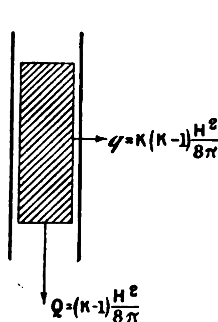


Fig. 1.

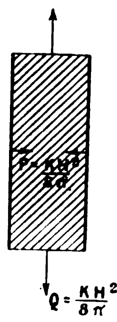


Fig. 2.

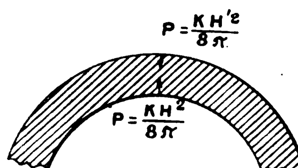


Fig. 3.

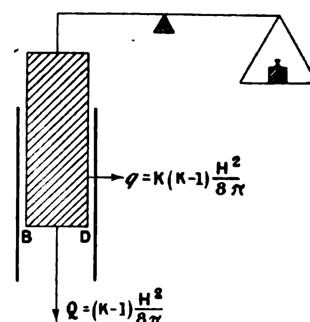


Fig. 4.

(¹) Rappelons que M. Pellat a montré (*Annales de physique et chimie*, 7ᵉ série, t. IV, 1895) que : si une lame diélectrique suspendue au fléau d'une balance à l'une de ses extrémités BD (fig. 4) entre les armatures d'un condensateur, au moment de la charge, le fléau s'incline du côté de la lame et pour le ramener à sa position primitive, il faut mettre dans le plateau des poids égaux à $(K - 1) \frac{H^2}{8\pi} \times$ surf. BD ; il a montré que chaque élément de surface perpendiculaire aux lignes de force est, en outre, soumis à une traction

$$q = K (K - 1) \frac{H^2}{8\pi}$$

La modification de l'éther qui constitue la production du champ électrique est accompagnée d'une modification de l'état moléculaire de la matière superposée à l'éther, en vertu de laquelle l'élément de volume matériel, situé en un point où l'intensité du champ est H, tend à se contracter de $\left(-k_2 \frac{H^2}{8\pi}\right)$ *dans la direction du champ et à se dilater de* $\left(k_1 \frac{H^2}{8\pi}\right)$ *dans les directions perpendiculaires* (1).

Remarque : Je ne fais que signaler en passant que *pour les gaz, cette deuxième cause subsiste seule et produit la contraction électrique des gaz*, observée par Quincke.

III. Discussion des théories précédemment faites.

J'abrégerai beaucoup cette troisième partie, ainsi que la suivante, en priant de se reporter au mémoire :

1° Les *formules de déformations électriques, déduites de l'étude des pressions au sein des diélectriques solides polarisés*, sont en général exactes ; exemple : la formule de déformation du condensateur sphérique établie par Korteweg et par Lorberg.

La formule de Lorberg pour le condensateur cylindrique est inexacte : la cause en est à ce qu'au cours de ses calculs, il introduit doublement la même quantité sous deux formes différentes.

M. Duhem, après avoir fait une étude complète des pressions au sein des solides polarisés, en déduit les équations générales des déformations ; le seul cas particulier qu'il traite est celui du diélectrique d'un condensateur plan (non en contact avec les armatures) : la formule qu'il donne ne concorde pas avec la mienne parce qu'il l'obtient en étendant aux diélectriques une formule, obtenue pour la polarisation magnétique en supposant le *coefficient d'aimantation très petit*, ce qui reviendrait à admettre que pour les diélectriques $\frac{K-1}{4\pi}$ est très petit : *hypothèse évidemment inadmissible pour les diélectriques solides.*

2° Occupons-nous maintenant des *essais de théorie thermodynamique :*

M. Vaschy avait été arrêté dès le début par suite d'erreurs faciles à apercevoir.

Les formules obtenues par M. Duhem pour le condensateur cylindrique infiniment mince sont en complet désaccord avec les miennes, en voici la raison : M. Duhem introduit implicitement dans ses calculs, cette hypothèse que « toutes les lignes perpendiculaires à l'axe du cylindre subiraient la même déformation électrique unitaire » ; ceci n'est pas évident, et j'ajouterai même est inexact ; nos formules (I) (II) montrent, en effet, que la déformation n'est pas la même pour les lignes circulaires (perpendiculaires aux lignes de force) que pour l'épaisseur du cylindre (dirigée suivant ces lignes de force) et qui sont cependant toutes deux normales à l'axe du cylindre ; il y a en outre une erreur dans les formules des déformations élastiques employées pour le cylindre.

En reprenant la démonstration de M. Duhem par le potentiel thermodynamique mais en m'affranchissant de l'hypothèse signalée plus haut et en rectifiant les données élastiques, j'ai bien retrouvé (aux coefficients k_1 k_2 k près, que M. Duhem néglige) les formules que j'ai établies dans ma théorie par des raisonnements plus simples.

D'une façon générale : *toutes les divergences entre les diverses théories n'étaient dues*

---

(1) A rapprocher de cela que : *lorsqu'on expose un corps à un rayonnement calorifique, le mouvement vibratoire de l'éther produit un changement dans l'état moléculaire du corps* (qui constitue l'élévation de température) *et en vertu duquel chaque élément de volume tend à se dilater également dans toutes les directions.*

qu'à des erreurs, et une fois celles-ci rectifiées, tous les résultats partiels précédemment obtenus redonnent des formules, comprises dans la théorie plus complète que j'ai indiquée au début.

IV. Discussion des travaux expérimentaux.

Elle me conduit aux résultats suivants :

La loi de la proportionnalité de la déformation au carré du potentiel a été confirmée par toutes les expériences.

La relation $\frac{\Delta U_1}{U_1} = 3 \frac{\Delta L}{L}$ établie expérimentalement par Quincke et contrôlée par Cantone est indiquée par notre formule (III).

Quant à la *loi de la proportionnalité entre la déformation et l'inverse du carré de l'épaisseur*, elle n'était contredite que par les expériences de M. Duter que je montre ne pouvoir être conservées qu'au point de vue qualificatif et par les expériences de M. Righi dans lesquelles je signale une cause d'erreur qui a pu fausser complètement la recherche sur l'influence de l'épaisseur ;

Au contraire, cette proportionnalité de la déformation à l'inverse du carré de l'épaisseur a été vérifiée par toutes les expériences postérieures de Quincke, Korteweg et Julius, Cantone, avec des écarts considérables, il est vrai, mais je montre ailleurs, qu'il y a de nombreuses et importantes causes de divergences qui s'opposent à toute vérification rigoureuse de cette loi et qui sont pour la plupart insurmontables.

V. Essai de calcul du coefficient k_1

Considérons notre formule théorique (I) $\frac{\Delta U_1}{U_1} = 3\left(\frac{\Delta L}{L}\right) = 3\,(a + k_1)\,\frac{K}{8\pi}\,\frac{V^2}{e^2}$.

Les expériences sur les déformations électriques des diélectriques des condensateurs nous en donnent les premiers membres : $\frac{\Delta U_1}{U_1}$ ou $\frac{\Delta L}{L}$ pour des valeurs de V et de e connues.

Si on a également déterminé (comme l'ont fait Quincke et Cantone) le coefficient élastique a et la constante diélectrique K de la substance qui forme le diélectrique du condensateur, on voit que :

La formule ci-dessus *permettra de calculer la valeur de k_1 : coefficient de variation de la constante diélectrique par une traction normale aux lignes de force*, coefficient qui n'a encore été l'objet d'aucune mesure directe.

Des considérations que je développe ailleurs m'ont conduit à adopter pour ces calculs les résultats numériques de M. Cantone sur les variations de longueur des condensateurs cylindriques en verre ; ces données m'amènent à la conclusion suivante :

Le coefficient k_1, qui doit évidemment varier d'un récipient à un autre puisqu'il est certainement fonction de l'état physique et chimique du verre, *est de l'ordre de grandeur de* $+1 \times 10^{-12}$ CGS [1] (et par suite du même ordre de grandeur que le coefficient élastique a).

Cette déduction vient d'être confirmée, au moins au point de vue du signe, par des

[1] Mais, je le répète, cette conclusion est forcément subordonnée à l'exactitude des résultats de M. Cantone.

expériences récentes de M. Ercolini, sur la variation de la constante diélectrique du verre soumis à une traction.

Remarque : M. Lippmann avait déjà déduit de son principe sur la conservation de l'électricité que, le fait expérimental établi pour le verre, d'une dilatation électrique proportionnelle à V^2 entraînait comme réciproque que : « *La capacité électrique d'un condensateur à lame de verre doit augmenter par traction* et proportionnellement à celle-ci.

Ce résultat de M. Lippmann n'*entraînait pas forcément l'existence d'une variation de la constante diélectrique*, en effet :

La capacité électrique dépend :

1° De la constante diélectrique ;

2° Des dimensions du condensateur.

Or, justement dans toutes les expériences de dilatation électrique, on a opéré avec des armatures adhérentes au diélectrique ; par suite, l'effet de la traction est d'augmenter la surface et de diminuer la distance de ces armatures, autrement dit d'accroître la capacité électrique : il se pouvait donc que la variation de capacité électrique prévue par M. Lippmann fût due uniquement à cette cause.

Paul Sacerdote.

ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE DES TRAINS ET DES TRAMWAYS

PAR DYNAMO ENTRAINÉE PAR L'ESSIEU

Jusqu'à ces derniers temps, les tentatives faites pour éclairer les wagons par l'électricité se bornaient à l'installation de batteries suffisamment fortes pour assurer l'alimentation des lampes pendant la durée d'un parcours [1]. Ces batteries sont, soit remplacées à la main, soit rechargées dans les stationnements. On conçoit si aisément les inconvénients de ce système que nous n'insisterons pas sur ce point.

On a donc cherché à utiliser la force vive du train pour actionner une dynamo génératrice, et pourvoir, dans une certaine proportion, aux demandes d'énergie électrique, nécessitées par l'éclairage du train. Pendant les arrêts, ou dans les fractions du parcours où la vitesse est la plus faible, une batterie d'accumulateurs assure l'éclairage. Le succès du système, en dehors de toute condition de sécurité et de bon fonctionnement, a pour critérium le minimum du rapport de la capacité en ampères-heures de la batterie à installer, à l'ampérage des lampes à alimenter.

La difficulté la plus importante que l'on rencontre dans cet ordre d'idées est celle de maintenir dans le système la tension constante aux bornes du circuit des lampes, et cela malgré les variations de vitesse continuelles du train.

Parmi les appareils destinés à assurer l'éclairage d'après ces principes, nous citerons les systèmes *Stone, Dick*, *Vicarino* et un nouveau système récemment appliqué sur le P.-L.-M..

---

(1) Voir à ce sujet dans *L'Éclairage Électrique* : Éclairage des voitures du Jura-Simplon, t. XII, p. 248, 392 et 552, 31 juillet, 18 août et 18 septembre 1897 : Éclairage des wagons-poste allemands, t. I, p. 575, 1er décembre 1894; t. VII, p. 308, 16 mai 1896 (article « accumulateur Boëse »); t. XV, p. XCIV, 18 juin 1898; Éclairage des wagons de la Compagnie du Nord, t. XII, p. 599, 25 décembre 1897.

Ces systèmes déjà décrits dans ce journal [1], à l'exception du système Vicarino, ont pour caractéristiques communes : 1° d'alimenter les lampes par la dynamo, quand la vitesse dépasse une certaine limite, la tension restant constante, malgré les variations de vitesse du train ; 2° de charger les accumulateurs pendant la même portion du parcours ; 3° d'assurer, pendant le reste du temps l'éclairage au moyen de la batterie, d'une manière automatique. Ces divers systèmes ne diffèrent, à proprement parler, que par le mode de régulation de la tension ; dans la plupart des cas, la batterie est montée en dérivation, aux bornes de la dynamo.

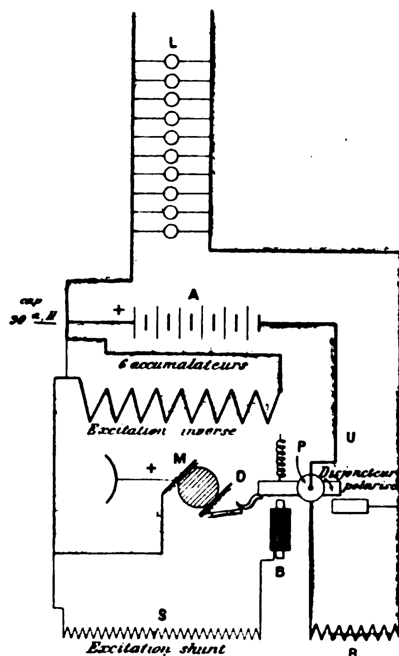


Fig. 1. — Schéma du système Vicarino.

Le système Vicarino comporte toujours essentiellement une dynamo et une batterie d'accumulateurs : la dynamo est suspendue sous la voiture, commandée par l'essieu au moyen d'une chaîne Galle, d'une courroie ou d'un engrenage. Cette machine porte deux enroulements (fig. 1), l'un à fil fin S d'excitation, en dérivation, l'autre en gros fil M, mais agissant en sens opposé du premier : il a donc pour effet de diminuer le champ quand l'intensité du courant qui le traverse augmente. Les lampes et les accumulateurs sont montés en dérivation. Ils ont un pôle commun avec la dynamo.

Au moment où le courant passe des accumulateurs sur la dynamo et inversement. On constate une élévation de lumière, à la conjonction de la dynamo, et une baisse à la disjonction : ces variations de voltage peuvent amener dans les lampes une détérioration rapide. Il semble que la suppression de la mise en parallèle permanente de la dynamo et de la batterie ne soit pas une innovation heureuse, au point de vue de la régularité du voltage.

Le pôle opposé de la dynamo est relié à un conjoncteur-disjoncteur. Celui-ci porte sur une de ses branches un enroulement parcouru par le courant de la dynamo ; une deuxième branche, parcourue par l'excitation dérivée, est enroulée en sens contraire, de manière à créer un pôle inverse du précédent. Suivant les grandeurs relatives du courant qui traverse les bobines, la dynamo se trouve automatiquement mise dans le circuit des lampes, soit enlevée de ce circuit. Dans le premier cas, la résistance R est intercalée automatiquement dans le circuit. Une partie du courant va charger les accumulateurs, l'autre alimenter les lampes. Les éléments sont au nombre de 6 : à 2,5 volts par élément, la tension de charge est donc de 15 volts. Le voltage de 12 volts est celui de la décharge de la batterie.

Quand la vitesse du train augmente, la tension tendrait à augmenter, si l'excitation était seulement constituée par l'enroulement en dérivation : en réalité, l'excitation en série est accrue, et comme son enroulement est de sens opposé au précédent, on conçoit qu'il soit possible de maintenir constante la tension, quelle que soit la vitesse. Voyons comment cette condition peut être réalisée.

---

[1] Voir dans *L'Éclairage Électrique* : Système Stone, t. VIII, p. 526, 12 septembre 1896 ; t. VII, p. 240, 2 mai 1896 ; t. XVII, p. cx, 17 décembre 1898. Dispositif Preston : t. XX, p. 459, 23 septembre 1899. Système Dick. t. XVII, p. 523, 24 décembre 1898. Système de la Compagnie du P.-L.-M. : t. XX, p. 460, 23 septembre 1899 ; Systèmes divers : t. I, p. 478, 1894 ; t. IV, p. 316, 1895 ; t. VI, p. 94, 1896.

Soit $E = Nn\Phi$ la tension de la génératrice avec les notations connues e la force contre-électromotrice de la batterie montée en opposition avec la dynamo. L'excitation en série est alimentée par le courant $I = \frac{E - e}{R_s + R_a}$ si R_s désigne la résistance de l'enroulement série et si R_a représente la résistance de l'armature, le courant de l'excitation en dérivation est $i = \frac{E}{R_d}$ en appelant R_d la résistance de l'enroulement correspondant. Or, on a la relation suivante entre le flux Φ et les ampères-tours d'excitation.

$$\Phi = 4\pi\left(\frac{mi - m'I}{\Sigma\mathfrak{R}}\right),$$

donc,

$$E = 4\pi \frac{(mi - m'I)}{\Sigma\mathfrak{R}} Nn$$

Pour que la force électromotrice de la génératrice reste constante, il faut que le produit $(mi - m'I)$ N soit lui-même une constante k. En remplaçant I et i par leurs valeurs, cette condition devient

$$N\left[\frac{\Phi Nnm}{R_d} - \frac{m'(N\Phi n - e)}{R_s + R_a}\right] = K.$$

et si l'on pose

$$\left(\frac{m}{R_d} - \frac{m'}{R_s + R_a}\right)n = A, \qquad \frac{em'}{R_s + R_a} = B,$$

il viendra

$$N[N\Phi A + B] = K. \quad \Phi = \left(\frac{K}{N} - B\right)\frac{1}{AN}.$$

Telle est la relation entre l'intensité du flux et la vitesse N. Supposons que la vitesse vienne à doubler brusquement, ce qui se rencontre fréquemment dans les applications du système Vicarino aux tramways ; on a alors

$$\Phi' = \left(\frac{K}{2N} - B\right)\frac{1}{2AN.}$$

d'où en divisant membre à membre

$$\frac{\Phi}{\Phi'} = \frac{K - BN}{K - 2BN}\,\frac{2 \times 2}{1} = \frac{4(K - BN)}{K - 2BN}$$

Quand la vitesse devient double, l'intensité d'aimantation tombe donc à une valeur inférieure au quart de celle qu'elle avait : la machine dynamo travaille donc dans des conditions de magnétisme très différentes, ce qui est loin d'être un avantage.

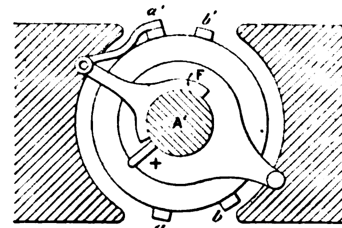


Fig. 2. — Dispositif de calage des balais.

En un mot, théoriquement, la dynamo peut tourner à une vitesse quelconque : elle produit aux lampes une tension constante, et charge les accumulateurs plus ou moins, suivant la vitesse du train. Si la vitesse se ralentit, la tension aux bornes de la dynamo diminue, le courant de charge des accumulateurs diminue également. La tension ayant tendance à baisser dans une grande proportion, le courant des accumulateurs soutient l'excitation de la dynamo et envoie dans le gros fil un courant qui vient s'ajouter à celui de l'excitation dérivée, étant alors de même sens que ce dernier. Quand la dynamo s'arrête, le disjoncteur U formant les pôles

de même nom, sollicité par un contrepoids coupe le courant de la dynamo, et met la résistance en court-circuit, et relie les accumulateurs directement aux lampes : il en résulte que, soit à l'arrêt, soit en marche à vitesse variable, l'éclairage aux lampes est constant.

Pour éviter que le sens du courant de charge des accumulateurs ne vienne à changer, les balais de charbon de la dynamo sont fixés sur un secteur pivotant autour de l'arbre A' (fig. 1)

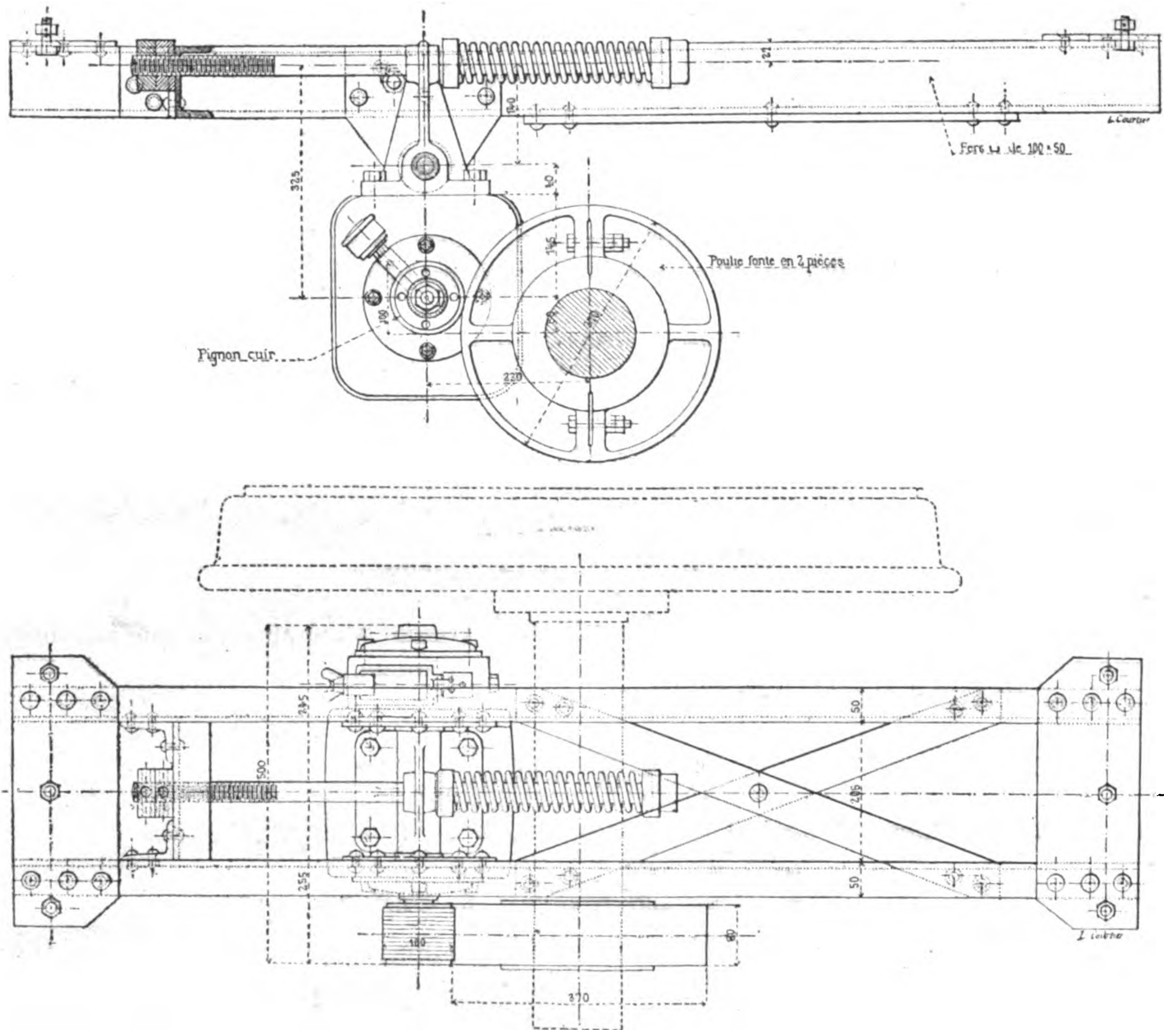


Fig. 3 et 4. — Elévation et plan du dispositif de suspension et d'entraînement adopté par la Compagnie du Midi.

de la dynamo. Ce secteur est muni d'une rainure F dans laquelle bute la goupille X. Si l'anneau tourne dans une direction donnée, les balais, appliqués sur le collecteur par des ressorts, sont entraînés dans le sens de la rotation jusqu'à ce que la goupille limite la course du secteur et arrête le mouvement. Le dispositif permet en même temps de caler les balais au point voulu pour éviter les étincelles dans les deux sens de marche : (*a'*, *b*) indiquent l'une des positions des balais, (*a*, *b'*) la position correspondant à la marche inverse.

En résumé, il ne semble pas que le système Vicarino constitue une solution définitive de l'éclairage des tramways qui empruntent leur énergie motrice à une autre source que

l'électricité (tramways à vapeur, à gaz, à air comprimé, etc.) Le régime très irrégulier auquel est soumise la batterie, la difficulté d'amorcer la dynamo à d'aussi faibles vitesses, enfin une autre difficulté bien plus grave, à laquelle on se heurte quand on veut loger une dynamo et établir une transmission sous l'infrastructure déjà si encombrée du truck expliquent l'insuccès des premières tentatives.

Pour les chemins de fer, au contraire, les résultats obtenus ont été bien meilleurs à cause de l'absence même des difficultés que nous venons de signaler pour les tramways. La vitesse est beaucoup mieux connue à l'avance et l'équilibre bien plus facile à établir entre les périodes de charge et de décharge de la batterie. Les enroulements de la dynamo sont de même plus faciles à réaliser. Aussi les essais faits récemment sur les trains des Compagnies de l'Est, de l'Ouest, du Midi et de l'État, ont été satisfaisants [1].

A. Barbillion,
Docteur ès sciences physiques,
Ingénieur à la Compagnie Générale des Omnibus.

---

[1] Depuis que cet article nous a été remis (septembre 1899), la Compagnie générale électrique, de Nancy, propriétaire des brevets Vicarino, a fait paraître (janvier 1900) une brochure sur ce système: plus récemment la

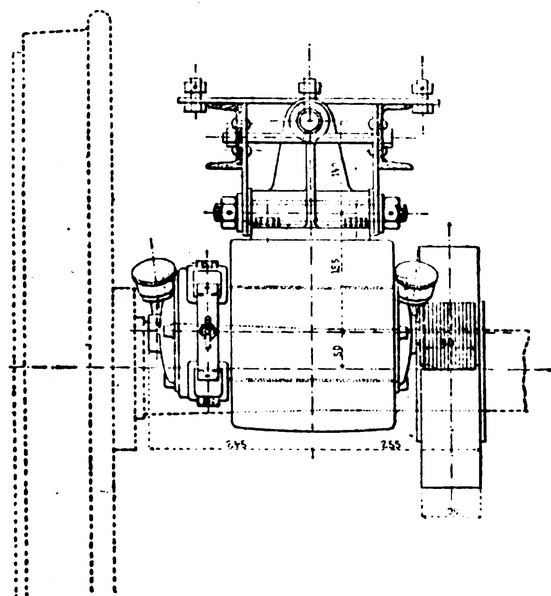


Fig. 5. — Vue en bout du dispositif de suspension et d'entraînement adopté par la Compagnie du Midi.

Revue générale des chemins de fer et des tramways (t. XXIII, p, 285, mars 1900) a publié une description des dispositifs adoptés par la Compagnie du Midi, avec des figures cotées que nous croyons utile de reproduire.

Les figures 3, 4 et 5 qui donnent une élévation, une vue en plan et une vue en bout du dispositif de suspension et d'entraînement, montrent que la dynamo est entraînée par un pignon de cuir calé sur son arbre et une poulie de fonte clavetée sur l'essieu.

Le conjoncteur-disjoncteur est représenté par les figures 6 et 7 et schématiquement sur la figure 8. On voit qu'il se compose de deux enroulements, l'un de fil fin branché en dérivation sur le circuit de la dynamo, l'autre de gros fil parcouru par le courant principal. Le premier enroulement tend à soulever le noyau *n* et sa résistance est calculée de façon que, quand la dynamo fonctionne

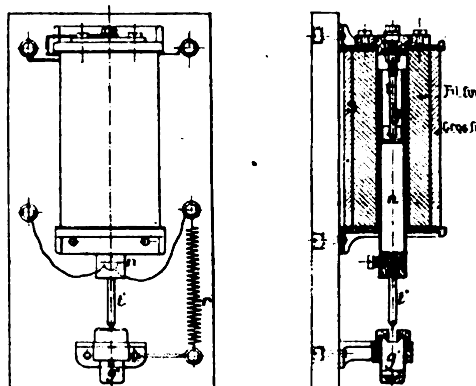


Fig. 6 et 7. — Conjoncteur-disjoncteur automatique.

en circuit ouvert au commencement de la mise en marche, l'aspiration ait lieu dès que la tension aux bornes dépasse de 3 à 4 volts la tension normale des lampes (30 volts). Ce mouvement du noyau coupe le circuit en *t'g'* en soulevant la pointe de la tige *t'* hors du mercure du godet *g'*, et en même temps ferme le circuit *tg* en mettant le mercure du godet *g* en contact avec la tige de réglage *t* qui termine l'enroulement en gros fil. La dynamo se trouve alors mise en parallèle avec la batterie et charge celle-ci en même temps qu'elle alimente le réseau d'éclairage sur lequel se trouve intercalée la résistance *r*; le passage du courant dans l'enroulement à gros fil produit alors sur le noyau une action qui s'ajoute à celle de l'enroulement en dérivation et maintient ce noyau suspendu malgré la trépidation et les chocs. Dès que la tension tombe au-dessous de 34 volts, il y a tendance au renversement du courant et au déchargement des accumulateurs sur la dynamo: l'action du gros fil devient inverse de celle du fil fin, et le noyau retombe, coupant le contact supérieur

****

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

Dispositif Bliss pour la commande des roues de tramways. Brevet anglais n° 12 869, déposé le 20 juin 1899, accepté le 2 septembre 1899.

La suspension du moteur au bâti A du truck s'obtient de la manière suivante (fig. 1 à 4) :

Le moteur, du type cuirassé, a son enveloppe formée de deux parties C et C', et chacune de ces parties porte deux flasques D et E ; celles-ci sont boulonnées à une pièce demi-cylindrique F, et forment avec elles un cylindre creux entourant l'essieu B qu'il s'agit de faire mouvoir. Des projections W et W' de cet ensemble s'appuient sur les barres recourbées XX' fixées au truck ; la figure 4 indique la forme de ces sup-

---

qui met la dynamo en parallèle avec les accumulateurs, et rétablissant le contact inférieur, qui assure l'alimentation des lampes par les accumulateurs seuls.

Le dispositif assurant la constance du sens du courant de la dynamo quelque soit le sens de la marche du train

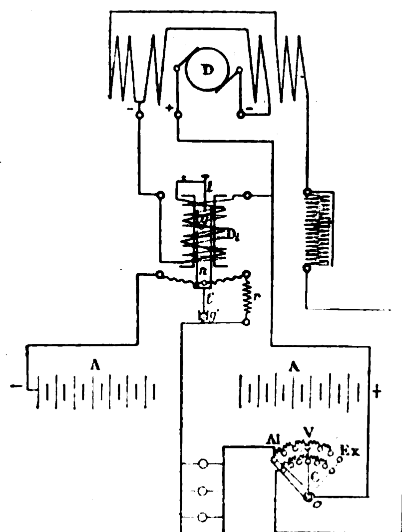


Fig. 8. — Schéma de l'installation.

est représenté par la figure 9. Les balais, en charbon et montés sur deux tourillons, sont fixés à un disque de bronze placé sur l'arbre même de la dynamo. Ce disque, bien équilibré, est entraîné par son frottement sur l'arbre et par celui des balais sur le collecteur, dans le sens de rotation de l'induit. La course de ce disque est limitée par deux butées, qui permettent son déplacement de 180° lorsque le sens de la marche est renversé et qui le maintiennent fixé dans l'une ou l'autre de ces positions extrêmes tant que la machine continue à tourner dans le même sens. Deux cercles en cuivre isolés amènent le courant des tourillons des porte-balais aux bornes de départ de la dynamo, par l'intermédiaire de deux frotteurs à piston.

Les figures 10, 11 et 12 représentent un commutateur à trois directions qui permet : soit d'allumer l'ensemble des lampes tout en fermant le circuit d'excitation de la dynamo; soit d'intercaler une résistance d'absorption sur les lampes et d'insérer, en même temps, une résistance dans le circuit dérivé des inducteurs pour diminuer, à ce moment, le débit de la dynamo proportionnellement à la diminution de consommation des lampes; soit

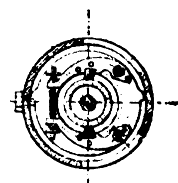


Fig. 9. — Dispositif de calage automagnétique des balais.

enfin d'éteindre les lampes tout en coupant l'excitation de la machine pour qu'elle ne charge pas inutilement les accumulateurs lorsque la consommation est nulle.

Les voitures de la Compagnie du Midi où les appareils précédents ont été installés contiennent 10 lampes de 8 bougies (deux par compartiment). Ces lampes fonctionnant sous 30 volts, la batterie d'accumulateurs comprend

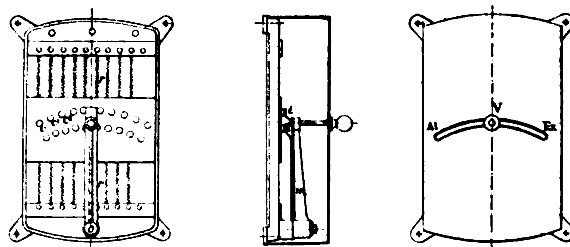


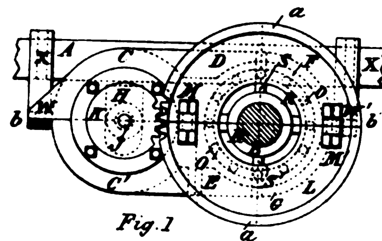
Fig. 10, 11 et 12. — Commutateur à trois directions.

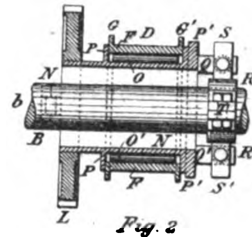
15 éléments; sa capacité, de 40 à 60 ampères-heure, permet d'assurer l'éclairage pendant 6 à 9 heures. D'après les expériences qui ont été faites il convient que les accumulateurs reçoivent en marche environ 30 p. 100 du courant absorbé par les lampes. On a choisi le rapport de vitesse entre la dynamo et l'essieu de manière à obtenir ce résultat pour la vitesse moyenne de 50 km:h. D'ailleurs, si cela est nécessaire on peut mettre les appareils au point pour une allure moyenne différente à l'aide du rhéostat à curseur placé dans le circuit d'excitation. Un équipement complet pour une voiture, revient à 1250 fr, non compris le montage. N. D. L. R.

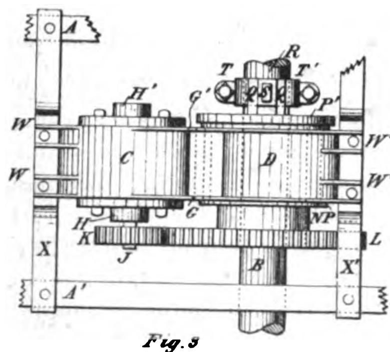
ports et montre que leur partie médiane se trouve au niveau de l'axe de l'essieu.

La transmission du mouvement s'effectue comme il suit : l'arbre J de l'armature du moteur porte un pignon denté K engrenant avec une roue dentée L formée de deux parties assemblées par les boulons M. Celle-ci fait corps avec un manchon N concentrique au cylindre que forment les pièces DE et F, cylindre qui sert de palier au manchon ; des rouleaux O sont interposés entre la surface externe du manchon et la surface interne du palier pour diminuer le frottement ; les cornières G et G′ du palier et celles P et P′ du manchon empêchent des mouvements longitudinaux relatifs du palier et du manchon. Sur la cornière P′ se trouvent quatre oreilles Q et Q′ (fig. 2 et 5) auxquelles sont fixés des ressorts U. Ceux-ci pressent les bras SS′ d'une couronne R fortement serrée sur l'essieu B au moyen des boulons T. Le mouvement de la roue L et du manchon N se trouve ainsi transmis à l'essieu par un accouplement élastique.

L'inventeur revendique plusieurs avantages en faveur de ce dispositif. En premier lieu il n'est pas nécessaire de centrer avec soin les diverses pièces du mécanisme de transmission de mouvement ; d'où diminution considérable des







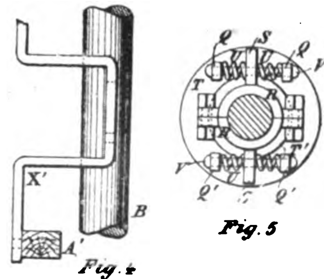


Fig. 1 à 5. — Coupe verticale du mécanisme de transmission Bliss. Coupe longitudinale par l'axe de l'essieu. Vue en plan de l'ensemble. Disposition des barres coudées servant de supports. Accouplement élastique de l'essieu et du manchon.

frais de main-d'œuvre dans la fabrication et dans le montage. En second lieu l'arbre de l'armature du moteur n'a pas besoin d'être rigoureusement parallèle à l'essieu ; celui-ci peut donc avoir dans le sens horizontal un certain jeu qui permet à la voiture de passer dans des courbes de faible rayon ; il peut également se déplacer dans le sens vertical, par suite des inégalités de la voie, sans produire d'efforts anormaux sur les organes de transmission. D'autre part l'essieu peut encore prendre un mouvement longitudinal, grâce à son mode de liaison. Enfin les vibrations de l'essieu ne peuvent se transmettre au moteur, grâce à l'élasticité de la liaison de l'essieu et du manchon N.

Le démontage du mécanisme, pour la visite ou le remplacement de ses diverses parties, ne présente pas de difficultés. En déboulonnant les pièces C′ et E on peut accéder par la partie inférieure aux organes du moteur et du mécanisme de transmission. Si l'on a besoin de changer quelques-uns des organes de transmission, on enlève la roue dentée L après avoir séparé les deux parties qui la composent.

Sur le calcul des réseaux de tramways électriques, par **J. Felk.** *Zeitschrift für Elektrotechnik*, t. XVII, p. 435-441, 13 août 1899.

1. *Évaluation de l'intensité du courant.* — On constate souvent entre l'expérience et le calcul des différences sensibles, quand on cherche à établir les consommations de puissance nécessaire aux automotrices et aux locomotives électriques. Ces différences paraissent tenir surtout à ce fait que l'on ne tient pas un compte exact du rendement des moteurs, et de la forme de leur caractéristique. Les moteurs série employés en traction électrique possèdent cette propriété que sous une augmentation de charge, leur vitesse diminue. Le nombre de tours et le rendement sont fonctions au premier chef de l'effort de traction, ou plutôt du couple moteur, et varient beaucoup avec la puissance et la construction des moteurs. Les relations entre les intensités du courant, le nombre de tours, et le couple moteur ou effort de traction à appliquer à un bras de levier unité, peuvent se déterminer comme on sait par le calcul.

Les relations suivantes, écrites avec les notations habituelles de l'électrotechnique, entre l'intensité I, le nombre de tours N et le couple moteur C répondent à la question

$$I = \left(\frac{E - e}{R}\right) \qquad e = Nn\Phi,$$

$$\Phi = \frac{4\pi m I}{\mathfrak{R}},$$

$$I = \frac{E}{R + \frac{4\pi n m}{\mathfrak{R}} N},$$

$$C = \frac{E}{N\left[2\pi\left(R + \frac{4\pi m n}{\mathfrak{R}} N\right)\right]},$$

en posant

$$C = x$$
$$N = y$$
$$I = Y,$$

on a les relations suivantes entre I et C d'une part, N et C d'autre part

$$Axy + Bxy^2 - E^2 = 0 \qquad (\alpha)$$
$$A'Yx + B'Y^2 - E^2 x = 0 \qquad (\beta)$$

si l'on a posé

$$A = 2\pi R \quad B = \frac{8\pi^2 xm}{R}$$

$$A' = \frac{AE}{2\pi} \quad B' = \frac{BE^2}{4\pi^2}.$$

Les relations α et β entre les quantités I et C, d'une part, N et C d'autre part, qu'on peut mettre sous la forme $N = f_1(C)$ et $I = f_2(C)$ sont, comme la pratique le montre, en général insuffisantes. Ces relations peuvent se déterminer empiriquement au moyen de courbes appelées courbes des efforts de traction et représentées par la figure 1. Ces diverses courbes ont été obtenues avec différents moteurs.

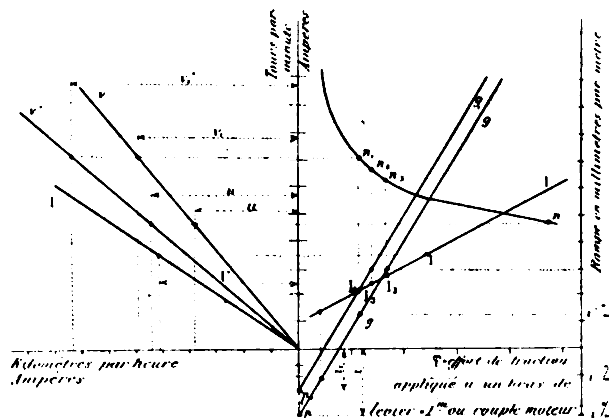


Fig. 1.

Soient R le rayon de la roue porteuse, r et r_1 ceux des roues dentées et $\frac{1}{\alpha}$ le rapport de réduction des engrenages, avec $\alpha > 1$. Appelons de même n le nombre de tours du moteur par minute, N le nombre de tours des roues, η_1 le rendement de l'engrenage, φ l'effort de traction du moteur pour un bras de levier égal à 1 mètre, c'est-à-dire C, le couple moteur. Soient encore K le nombre de moteurs employés, F l'effort de traction à la jante des roues porteuses, P le poids de l'automotrice ou du train en tonnes,

f le coefficient de traction en kgs par tonnes

i la pente ou la rampe en millimètres par mètre.

La puissance à fournir à chaque instant se calcule par la formule

$$P = F.R.2\pi.N = K\varphi.2\pi\eta_1 n \qquad (1)$$

en kilogrammètres.

D'où

$$\varphi = \frac{FR}{K\eta_1} \cdot \left(\frac{N}{n}\right) = \frac{F}{K} \cdot \frac{R}{\eta_1}\left(\frac{r}{r_1}\right) \qquad (2)$$

par conséquent

$$\varphi = \frac{FR}{K\eta_1\alpha} = \frac{F}{\left(\frac{K\eta_1\alpha}{R}\right)} = \frac{F}{C_0} \quad C_0 \text{ étant une constante} \qquad (3)$$

L'effort de traction à fournir à la jante des roues de la voiture, est donné par

$$F = P(f + i) \qquad (4)$$

d'où, d'après (3)

$$\varphi = \frac{F}{C_0} = \frac{P(f+i)}{C_0} \qquad (5)$$

Les courbes représentées figure 1, correspondent à un moteur en série. D'après la formule (5) φ est aussi une fonction linéaire de i. Cette droite coupe l'axe des ordonnées au point $-i = +p$ et au point $i = 0$, l'axe des abscisses en $\varphi = P\frac{f}{C_0}$. Cette droite a pour coefficient angulaire $\frac{P}{C_0}$. La direction de cette droite g ne dépend pour une valeur donnée du coefficient de traction f, que des éléments qui constituent C_0, c'est-à-dire, outre le poids P, le rayon R de la roue et le rapport de réduction $\frac{1}{\alpha}$. — Pour une autre valeur du coefficient de traction soit f_1, les quantités R, P, $\frac{1}{\alpha}$ restant les mêmes, on a

$$\varphi' = \frac{P(f_1 + i)}{C_0} \qquad (6)$$

la deuxième droite « g_1 » est parallèle à la précédente, et elle se détermine au moyen du point $-i_1 = f_1$.

Au moyen des droites g et g_1 on peut, pour chaque déclivité de i mm par mètre calculer l'intensité I du courant nécessaire et le nombre de tours n. Le point figuratif correspondant se trouve sur la droite g, les intensités I et le nombre de tours sur les parallèles à l'axe des ordonnées passant par le point précédent.

2. *Représentation graphique de la vitesse de déplacement au moyen du nombre de tours des moteurs.* — Soit v la vitesse de déplacement en kilomètres par heure. On peut entre cette vitesse et le nombre de tours du moteur établir la relation

$$v = \frac{n.2\pi.R.60}{\alpha.1000} = \mu n \qquad (7)$$

Cette expression représente une droite qui passe par l'origine. Si on détermine un deuxième point de cette droite pour une valeur donnée de n, la droite est entièrement fixée.

Si le moteur est enroulé pour un autre nombre de tours, c'est-à-dire si n', ce nouveau nombre $= x\,n$, on peut obtenir la nouvelle valeur $v' = x\,v$, directement, par la formule

$$v' = xv = \frac{x.n.2\pi.R.60}{\alpha.1000} = \mu n'$$

Le courant i' correspondant à ce nouveau cas est donné par

$$I' = xI$$

I' est toujours une fonction linéaire de I.

3. *Evaluation des consommations d'ampère-heure par kilomètre-train ou kilomètre automotrice.* — L'intensité du courant et le nombre de tours d'un moteur sont des grandeurs variables qui changent, sur les différentes rampes, avec le type de voiture, c'est-à-dire avec le poids à entraîner.

Dans le plupart des cas, le nombre de tours des moteurs ne s'adaptant pas suffisamment à la vitesse obtenue, le courant doit subir des variations très brusques, et les moteurs ne sont du reste intercalés dans le circuit que d'une manière temporaire, tandis que l'on utilise dans une fraction plus ou moins importante du parcours la force vive du véhicule. Le calcul de la consommation en ampères-heure effectué suivant la manière habituelle, c'est-à-dire en formant le produit du temps réel pendant lequel a été utilisé le courant, par l'intensité de ce courant, repose sur des bases très douteuses et ne peut donner aucun renseignement utile : on ne peut déterminer qu'avec la plus grande difficulté le temps pendant lequel le courant est coupé : on peut remarquer du reste que le travail à effectuer, sur une section déterminée du parcours ne dépend que de la vitesse des moteurs pourvus d'un enroulement donné. Aussi peut-on par la méthode exposée plus haut, c'est-à-dire en partant du nombre de tours des moteurs, calculer les consommations en ampères-heure, et par suite en watts-heure.

Dans ce qui va suivre, on va montrer comment on peut calculer aisément la consommation des ampères-heure sans avoir à connaître le temps d'un parcours simple.

Soient (fig. 2) :

l_1 l_2 l_3 les longueurs en mètres des diverses sections;

i_1 i_2 i_3 les déclivités correspondantes en millimètres par mètre;

$v_1\ v_2\ v_3$ / $v'_1\ v'_2\ v'_3$ les vitesses correspondantes pour l'aller et le retour;

$t_1\ t_2\ t_3$ / $t'_1\ t'_2\ t'_3$ les temps correspondants en seconde pour l'aller et le retour;

$n_1\ n_2\ n_3$ / $n'_1\ n'_2\ n'_3$ les nombres de tours par minute des moteurs relatifs aux mêmes sections du parcours;

$I_1\ I_2\ I_3$ / $I'_1\ I'_2\ I'_3$ les intensités de courant en ampères pour l'aller et le retour.

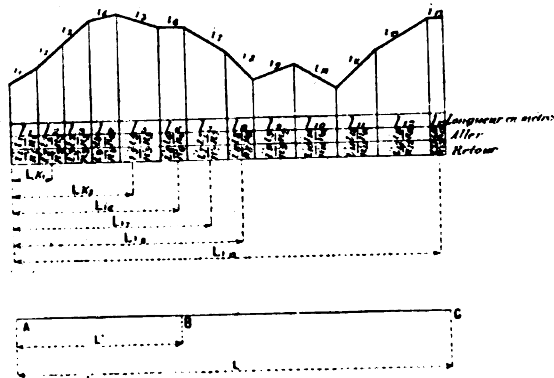


Fig. 2.

On a alors

$$l_1 = v_1 t_1 \qquad (10)$$

$$t_1 = \frac{l_1}{v_1}$$

$$v_1 = \frac{2\pi R n_1}{\alpha . 60}$$

et aussi

$$\frac{1}{v_1} = \frac{\alpha . 60}{2\pi R n_1}.$$

les consommations en ampères-heure pour l'aller et le retour s'établissent ainsi :

$$I_1 t_1 + I'_1 t'_1 = \frac{\alpha . 60}{2\pi R} . \left(\frac{I_1}{n} + \frac{I'_1}{n'_1}\right) l_1$$

$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots$$

$$I_x t_x + I'_x t'_x = \frac{\alpha . 60}{2\pi R}\left(\frac{I_x}{n_x} + \frac{I'_x}{n'_x}\right) l_x$$

En faisant la somme de ces équations, nous avons

$$\Sigma It = \frac{\alpha . 60}{2\pi R}\left[\left(\frac{I_1}{n_1} + \frac{I'_1}{n'_1}\right) l_1 + \ldots + \left(\frac{I_x}{n_x} + \frac{I'_x}{n'_x}\right) l_x\right] \qquad (11)$$

Divisons la valeur obtenue pour $\Sigma\ (It)$ par le double de la longueur de la ligne en kilomètres, on obtient ainsi la consommation en ampères-heure par kilomètre-automotrice ou kilomètre-train. — Considérons $\frac{I}{n}$ comme une fonction de l'effort de traction φ ou du couple moteur C (fig. 3), on peut donc, pour chaque déclivité i, trouver la valeur $\frac{I'}{n}$ correspondante, au moyen de la droite g de même façon que pour les quantités I et n.

Soit un moteur enroulé pour un autre nombre

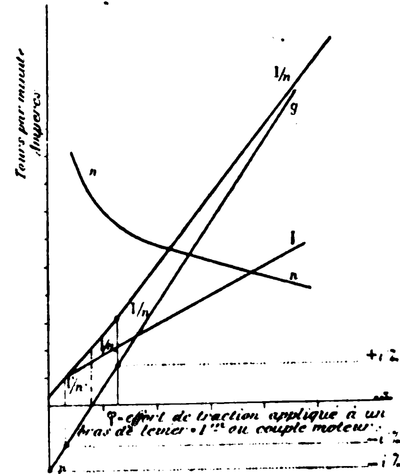


Fig. 3.

de tours : le travail varie, comme on sait, pour une tension constante, d'une manière directement proportionnelle au nombre de tours. Si l'on appelle E la tension entre balais, ρ le rendement du moteur, on peut écrire entre l'énergie utilisée et le travail du moteur la relation suivante

$$\frac{2\pi\varphi n}{75} = \rho\,\frac{iE}{736}. \qquad (12)$$

Le rendement ρ est une fonction de φ, $\rho = f_3(\varphi)$; ce rendement change quand le moteur est enroulé pour un autre nombre de tours et ne fonctionne pas par suite dans ses limites pratiques. La courbe $\left(\frac{I}{n}\right)$ reste au contraire la même pour un même type de moteur, pour quelque vitesse que soit enroulé celui-ci.

La courbe $\left(\frac{I}{n}\right)$ comprend au début une portion presque droite ; elle s'infléchit alors vers le haut et reprend ensuite la forme rectiligne. Considérons les valeurs de $\frac{I}{n}$ pour un aller et retour pour un poids donné P sur une déclivité,

dont la valeur absolue est plus petite que le coefficient de traction, et pour laquelle les valeurs correspondantes de $\frac{I}{n}$ appartiennent encore à la partie droite de la courbe figurative des $\frac{I}{n}$: on peut, pour une rampe de $+ i$ o/oo prendre pour la somme

$$\frac{I}{n} + \frac{I'}{n'} = \frac{2I_0}{n_0}$$

$\frac{I}{n}$ représente la valeur relative à la rampe, $\frac{I'}{n'}$ celle relative à la pente, et $\left(\frac{I_0}{n_0}\right)$ celle relative au parcours en palier. — Pour des rampes plus petites que la valeur absolue du coefficient de traction, le travail est jusqu'à une certaine limite, égal au travail en palier pris pour l'aller et le retour : pour les rampes $i = f_1$ la somme des travaux pour la pente et la rampe est plus petite que le travail en palier pour le double parcours, et à partir d'une certaine limite, il est plus grand. L'explication de ce fait doit surtout être recherchée dans les rendements défectueux des moteurs aux faibles puissances.

La grandeur de la rampe jusqu'à laquelle la somme $\frac{I}{n} + \frac{I'}{n'}$ peut être posée égale à $2\frac{I_0}{n_0}$, dépend du moteur choisi et du poids à entraîner. On voit ainsi que le calcul, prenant pour base des formules théoriques, ne peut alors conduire à aucun résultat satisfaisant.

4. *Calcul de la puissance nécessaire, ou du courant moyen.* — Il est évident que dans le cours de l'exploitation, les positions des voitures se retrouvent les mêmes, dans des intervalles de temps déterminés. Le temps qui s'écoule entre deux instants où toutes les voitures ont repris les mêmes positions dans l'espace sera appelé période.

La méthode générale usuelle pour calculer les consommations de courant moyennes, pour les intervalles t_1 t_2 t_3 équidistants les uns des autres, et compris dans une période (toutes les minutes par exemple) est celle-ci. On doit rechercher les intensités pour les différentes positions des voitures, en se reportant aux courbes des efforts de traction. On forme la somme de ces intensités différentes et on la divise par la somme des intervalles de temps. On a ainsi une valeur approchée de la moyenne du courant, qui peut dans certaines circonstances, différer beaucoup de sa valeur effective. C'est le cas qui se présente, par contre, si dans la section (A-B) du parcours, la vitesse de déplacement du véhicule est v, et dans la section (B-C) $v' = 1{,}5\ v$, et si l'on n'introduit aucun affaiblissement du champ magnétique, en vue d'affronter les rampes offertes par la ligne.

Les moteurs doivent dans ce cas être enroulés pour cette vitesse v', de telle sorte que dans le parcours A-B, ils sont soumis à un courant qui n'est pas approprié à ce type de moteur. Il est clair que d'après ce que l'on a vu, les consommations de courant sur la portion du parcours A-B, ne peuvent se calculer d'après les méthodes habituelles. On cherche à tourner la difficulté en réduisant les intensités de manière à obtenir des vitesses correspondant au nombre de tours des moteurs, pour les rampes rencontrées.

Pour évaluer les watts-heure, c'est-à-dire, sous tension constante, les ampères-heure consommés par kilomètre-voiture, on peut utiliser, comme on l'a montré, la courbe $\left(\frac{I}{n}\right)$. Le rapport de l'intensité du courant au nombre de tours, pour une valeur donnée de l'effort de traction, c'est-à-dire du couple moteur, et pour un moteur donné, peut être regardé comme constant.

Les ampères-heure se calculent d'après la formule

$$\Sigma(It) = \frac{2.60}{2\pi R} . \Sigma \left(\frac{I}{n} + \frac{I'}{n'}\right) l$$

La consommation de courant pour l'ensemble des voitures pendant une période est égale à la demande de chaque voiture automotrice ou de chaque train pour un parcours complet (aller et retour), sur les sections A-B et B-C, multiplié par le nombre des voitures.

Désignons par $\mathfrak{I}$ l'intensité du courant de service et par T la durée d'une période.

Nous aurons si $\lambda = \frac{2.60}{2\pi R}$.

$$\mathfrak{I}T = \lambda\Sigma \left(\frac{I}{n} + \frac{I'}{n'}\right) l: \qquad (13)$$

de cette formule, on tire la valeur moyenne du courant de service en ampères.

$$\mathfrak{I} = \frac{\lambda}{T} \Sigma \left(\frac{I}{n} + \frac{I'}{n'}\right) l. \qquad (14$$

Si quelques-unes des voitures ou toutes possèdent plusieurs moteurs, on doit dans les for-

mules précédentes multiplier les quantités $\left(\frac{1}{n} + \right.$ $\left. + \frac{1'}{n'}\right)$, qui ne correspondent qu'à un seul moteur, par le nombre des moteurs.

Soit ΔP la tension de service, mesurée au tableau de distribution, et soit γ le rendement de la dynamo. La consommation d'énergie moyenne se détermine en chevaux effectifs, à l'arbre de la machine à vapeur par la formule

$$\mathcal{T} = \frac{\mathcal{J}.\Delta P}{736.\gamma} = \frac{\lambda\Delta P}{T \times 736\gamma} \Sigma \left(\frac{1}{n} + \frac{1'}{n'}\right) l \qquad (15)$$

Supposons la section considérée en palier, on obtient alors pour le pofil en long dont nous venons de parler si L et L' sont les longueurs des sections (A-B) et (B-C).

$$\mathcal{T}_o = \frac{\lambda\Delta P}{T.736.\gamma} . \frac{I_0}{n_0} 2 (L + L') \qquad (16)$$

La consommation d'énergie calculée d'après la formule (15), si le coefficient de traction a été affecté de sa valeur réelle, représente la *consommation d'énergie moyenne effective*. Pour tenir compte du rendement de la machine, le travail doit être majoré de 20 p. 100 environ.

Les demandes maxima et minima de courant, peuvent être déterminées, sur le précédent profil en long, en prenant les positions les plus défavorables des voitures pour un même instant, et celles où la consommation de courant est la plus faible. Des différences entre les valeurs maxima, minima et moyenne, on peut déduire la grandeur de la charge moyenne, c'est-à-dire de l'intensité du courant d'appoint à fournir par la batterie qu'on peut adjoindre en parallèle à la dynamo.

5. *Evaluation de la perte de voltage moyenne.* — On évaluera de même manière que pour les

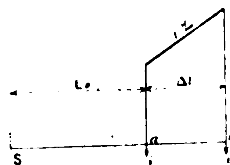


Fig. 4.

consommations de puissance moyenne la perte de tension moyenne dans la canalisation.

Dans la figure 4

L_0 représente la distance du point d'utilisation au point d'alimentation S en mètres,

i la pente en millimètres par mètre,

$\Delta l = (a\text{-}b)$ le chemin parcouru pendant le temps t sur la rampe i o/oo,

j, l'intensité correspondante du courant de service en ampères,

q, la section du conducteur en mm². Nous aurons pour expression de la perte jusqu'au point a

$$e_0 = \frac{L_0 j}{57q} \text{ Volts} \qquad (17)$$

D'après la formule (14) quand celle-ci est appliquée à une portion du parcours où la rampe est i o/oo

$$j = \frac{\lambda}{t} \frac{I}{n} . \Delta l$$

Portons cette valeur de I dans la formule (17) nous aurons

$$e_0 = \frac{L_0 j}{57q} . = \frac{L_0 \lambda}{57qt} . \frac{I}{n} . \Delta l \qquad (18)$$

Soit $e = \frac{\Delta l \lambda}{57qt}, \frac{I}{n} \Delta l$ la perte de tension de a à b : la perte de tension totale de S à b est alors

$$e_0 + e = \frac{\lambda}{57qt} \frac{I}{n} \Delta l (L_0 + \Delta l). \qquad (19)$$

Aussi longtemps que la voiture se trouve sur la pente de I o/oo, I reste constant, et la perte de tension varie proportionnellement à la distance du point d'alimentation au point d'utilisation. La perte de voltage moyenne est, par suite, fournie par la moyenne arithmétique des deux pertes de tension données par les formules (18) et (19)

$$em = \frac{2e_0 + e}{2} = \frac{\lambda}{57qt} . \frac{I}{n} \left[L_0 + \frac{\Delta l}{2} \right] \qquad (20)$$

$\left(L_0 + \frac{\Delta l}{2}\right)$ représente la distance moyenne comptée à partir du point d'alimentation, des extrémités a et b.

Posons $\left(L_0 + \frac{\Delta l}{2}\right) = L_m$, nous aurons

$$e_m = \frac{\lambda}{57qt} . \frac{I}{n} . \Delta l . L_m. \qquad (21)$$

et

$$e_m t = \frac{\lambda}{57q} . \frac{I}{n} \Delta l . L_m.$$

Imaginons qu'on partage une période en intervalles de temps très petits $t_1 = t_2 = t_3$ et représentons par e_1, e_2, e_3 les pertes de voltage totales correspondantes à chaque intervalle, et comptées à partir de l'origine S.

Soient $\frac{I_{t1}}{n_1}$, $\frac{I_{t2}}{n_2}$ etc. $\frac{I'_{t1}}{n'_1}$, $\frac{I'_{t2}}{n'_2}$ les valeurs de $\frac{I}{n}$ correspondant aux temps t_1, t_2, pour chaque position des voitures, valeurs tirées de la courbe $\frac{I}{n}$. Désignons de même par Δl_1, $\Delta l'_1$, Δl_2, $\Delta l'_2$, les chemins parcourus évalués sur le profil en long, et par L_1, L'_1, L_2, L'_2, les distances de chacune des sections au point d'alimentation. La formule (22) nous donne alors pour la somme des quantités $e_1 t_1$, $e_2 t \ldots$, $e_2 t$.

$$t(e_1 + e_2 + \ldots e_x) = \frac{\lambda}{57q} \cdot \left(\frac{I_{t1}}{n_t} \Delta l_1 L_1 \ldots + \frac{I_{t1}'}{n_{t1}'} \Delta l_1' L'_1 + \frac{I_{t2}}{n_{t2}} \Delta l_2 L_2 + \frac{I_{t2}'}{n_{t2}'} \Delta l'_2 L'_2 + \frac{I_{tx}}{n_{tx}} \Delta l_x L_x + \frac{I_{tx}'}{n_{tx}'} \Delta l'_x L'_x \right) = \frac{\lambda}{57qt} \sum_{t1}^{tx} \left[\frac{I_t}{n_t} \Delta l_t L^t + \frac{I_t'}{n_t'} \Delta l_t' L' \right]. \quad (22)$$

Soit E_m la valeur moyenne de la perte de voltage totale dans la canalisation de contact, calculée pendant toute une période $T = xt$, c'est-à-dire la perte qui s'obtient en faisant la somme des pertes pour chaque instant t, mesurée à partir du point d'alimentation jusqu'à l'extrémité de la sectiou où est utilisé le courant.

C'est-à-dire

$$Em = \frac{e_1 + e_2 + \ldots e_x}{x}$$

ou bien, comme $T = xt$

$$Em = \frac{\lambda}{57q} \frac{1}{T} \sum \left[\frac{I_t}{n} \Delta l_t L_t + \ldots + \frac{I_t'}{n_t'} \Delta l' L'_t + \ldots \right]. \quad (23)$$

Groupons les termes contenant les facteurs $\frac{I}{n}$ de même valeur. Nous pouvons écrire plus simplement, en représentant par l_1, l_2, l_3 les longueurs des déclivités i_1, i_2, i_3, par L_{i_1}, L_{i_2}, L_{i_3} les distances des milieux de ces déclivités au point S d'alimentation, et par $\frac{I_1}{n_1}$, $\frac{I'_1}{n'_1}$, $\frac{I_2}{n_2}$, $\frac{I'_2}{n'_2}$, comme précédemment les valeurs tirées de la courbe $\frac{I}{n}$ pour les pentes ou les rampes correspondantes

$$E_m = \frac{\lambda}{57qT} \cdot \left[\left(\frac{I_1}{n_1} + \frac{I'_1}{n'_1} \right) l_1 L_{l1} + \left(\frac{I_2}{n_2} + \frac{I_2'}{n_2'} \right) l_2 L_{l2} + \ldots \right] = \frac{\lambda}{57qT} \sum_{S_1}^{S_x} \left[\frac{I}{n} + \frac{I'}{n'} \right] l \, L_l \quad (24)$$

Les sommes entre parenthèses, pourvues de facteurs égaux $\left(\frac{I}{n} + \frac{I'}{n'} \right)$ peuvent être remplacées par un terme unique. Soit par exemple

$$\left(\frac{I_1}{n_1} + \frac{I'_1}{n'_1} \right) = \left(\frac{I_2}{n_2} + \frac{I'_2}{n'_2} \right) = \left(\frac{I_3}{n_3} + \frac{I'_3}{n'_3} \right) = K_1$$

$$\left(\frac{I_4}{n_4} + \frac{I'_4}{n'_4} \right) = \left(\frac{I_5}{n_5} + \frac{I'_5}{n'_5} \right) = \left(\frac{I_6}{n_6} + \frac{I'_6}{n'_6} \right) = K_2$$

La quantité L_{k_1} représente la distance du point A au milieu de la section $(l_1 + l_2 + l_3)$, la quantité L_{k2}, celle du point S au milieu de la section $(l_4 + l_5 + l_6)$, Ls'_6 la distance du point S au milieu de la deuxième moitié de l_6, Ls_7 jusqu'au milieu de l_7, la perte de voltage moyenne est donc

$$E_m = \frac{\lambda}{57qT} \cdot \left[2K_1 (l_1 + l_2 + l_3) L_{k1} + 2K_2 \left(l_4 + l_5 + \frac{l_6}{2} \right) L_{k2} + \left(\frac{I_6}{n_6} + \frac{I'_6}{n'_6} \right) \frac{l_6}{2} \, Ls'_6 + \left[\frac{I_7}{n_7} + \frac{I'_7}{n'_7} \right] l_7 L_{s7} + \ldots + \ldots + \ldots + \left(\frac{I_{13}}{n_{13}} + \frac{I'_{13}}{n'_{13}} \right) l_{13} L_{s13} \right] \quad (25)$$

Si sur la section A-B du parcours A-C il arrive que deux voyages aller et retour s'effectuent pour un seul sur la section B-A, on peut en tenir compte dans la formule précédente en ajoutant les valeurs Δl correspondant aux quantités $2l_1$, $2l_2$, $2l_3$, de telle sorte que les deux premières sommes soient multipliées par 2.

Si ce facteur $\left(\frac{I}{n} + \frac{I'}{n'} \right)$ garde la même valeur pour chaque rampe, la formule devient

$$E_m = \frac{\lambda}{57qT} \left[\frac{I}{n} + \frac{I'}{n'} \right] \left[\frac{L^2}{2} + \frac{L'^2}{2} \right].$$

La perte moyenne dans les conducteurs de la canalisation se calcule d'après l'intensité moyenne

du courant, la longueur et la section du conducteur. L'intensité moyenne du courant s'évalue d'après la formule (14), en tenant compte de la distance parcourue par le courant entre le point d'alimentation et le point d'utilisation.

Dans les chemins de fer électriques à départs peu fréquents, l'intensité change beaucoup, et il ne peut être question d'une intensité de courant à peu près fixe. On peut remarquer cependant que l'échauffement développé dans les conducteurs est le même que celui dû à un certain courant constant.

On peut donc adopter comme intensité de courant de service, dans les chemins de fer, ce courant effectif, et prendre les sections des canalisations en conséquence.

Soient $\mathfrak{J}_1$, $\mathfrak{J}_2$, $\mathfrak{J}_3$, les intensités du courant que, dans les intervalles $t_1 = t_2 = t_3 = t_4$, supportent les canalisations d'alimentation, et $\mathfrak{J}_0$ le courant effectif. On a

$$\mathfrak{J}_e = \sqrt{\frac{\mathfrak{J}_1'^2 + \mathfrak{J}_2'^2 + \ldots \mathfrak{J}_x'^2}{x}} \qquad (26)$$

Si l'on tient compte des variations de courant sur les diverses parties de la ligne, les intensités $\mathfrak{J}_1$, $\mathfrak{J}_2$, $\mathfrak{J}_3$, $\mathfrak{J}_4$, correspondantes doivent être réduites, et l'on obtient pour celles-ci :

Dans l'intervalle t_1

$$\mathfrak{J}_1 = \frac{\lambda}{57qt}\left[\frac{I_{t1}}{n_1}\Delta l_1 + \frac{I_{t1}'}{n'_1}\Delta l'_1\right]$$

Dans l'intervalle t_2

$$\mathfrak{J}_2 = \frac{\lambda}{57qt}\left[\frac{I_{t2}}{n_2}\Delta l_2 + \frac{I_{t2}'}{n'_2}\Delta l'_2\right].$$

Substituons ces valeurs dans la formule (26), nous aurons la valeur cherchée du courant effectif.

BARBILLION.

Voiture à percer et scier les rails du Chicago-Saint-Paul, Minneapolis et Omaha-Ry. *Engineering News*, t. XLII, p. 364.

Le prix élevé des rails d'acier, la nécessité d'employer des rails de plus en plus lourds et l'usure relativement faible que supportent les rails avant d'être rebutés pour les voies principales, peuvent amener à employer sur les lignes secondaires après les avoir convenablement rafraichis, des rails qui ont déjà servi sur les grandes lignes. Afin de pouvoir arriver facilement à ce résultat, la compagnie américaine C. S.-P. M. and O.-Ry a fait construire une installation mobile, composée d'un wagon plate-forme en acier monté sur deux trucks à bogies ; sur ce wagon est disposé tout l'équipement nécessaire pour scier, percer et redresser les rails.

Le wagon a une longueur totale de 18,50 m et une largeur de 3,15 m ; le châssis est formé de fers double T de 51 cm de haut. Toute la machinerie est conduite par un moteur à vapeur horizontal à grande vitesse, ayant des cylindres de 0,320 m × 0,356 m et faisant 300 tours par minute. La vapeur est produite par une chaudière verticale de 3,05 m de haut et 1,60 m de diamètre. Les tubes ont un diamètre intérieur de 50 mm. La scie circulaire a un diamètre de 1,10 m et tourne à 1 800 tours par minute, absorbant environ 150 chevaux. L'équipement comprend aussi les tables qui alimentent la scie, le redresseur de rails, et deux perceuses doubles. La figure 1 montre le plan de ce wagon.

Les rails sont montés à l'aide de grues à air comprimé, en forme de col de cygne, et sont placés par elles sur une table d'alimentation, qui consiste en un canal d'acier avec des rouleaux dans le fond. Pendant qu'on le coupe, le rail est maintenu par une mâchoire actionnée également à l'air comprimé, puis il passe à la perceuse. S'il est bien droit, il est placé immédiatement sur des plates-formes, sinon on le dirige vers les presses à redresser.

Les perceuses sont indépendantes et sont mises en mouvement par l'arbre principal à l'aide d'embrayages à friction. Quelques wagons n'ont qu'une machine à percer et peuvent scier deux fois autant de rails qu'on peut en percer dans le même temps. Le wagon représenté permet d'utiliser toute la capacité de la scie puisqu'on peut percer huit trous (2 rails) à la fois, de sorte que la capacité de la machine à percer est égale à celle de la scie.

Avec cette installation on a pu scier et percer plus de 400 rails en dix heures ; le maximum de rapidité a été atteint avec 67 rails en 64 m. En service ordinaire, on peut compter 450 à 500 rails par journée de dix heures.

Tous les rails qui doivent être sciés sont réunis en un point central de chaque section de ligne ; on aménage économiquement ces points, et c'est là seulement qu'on utilise l'installation portative.

Pour les travaux de peu d'importance en pleine voie, on se sert d'une scie à main. Selon l'usure des rails, on fait tomber les bouts en donnant le coup de scie entre le premier et le second trou d'éclisses ou entre le deuxième et le troisième.

Une installation de ce type employée par le Atchison, Topeka and Santa Fe Ry a 14 m de long sur 3,15 m de large et pèse environ 60 tonnes. Le prix total de la main d'œuvre, des réparations, du charbon, etc., pour scier, percer et manutentionner 6 500 tonnes de rails de 32 kg a été d'environ 4,10 fr par tonne soit 25 000 fr,

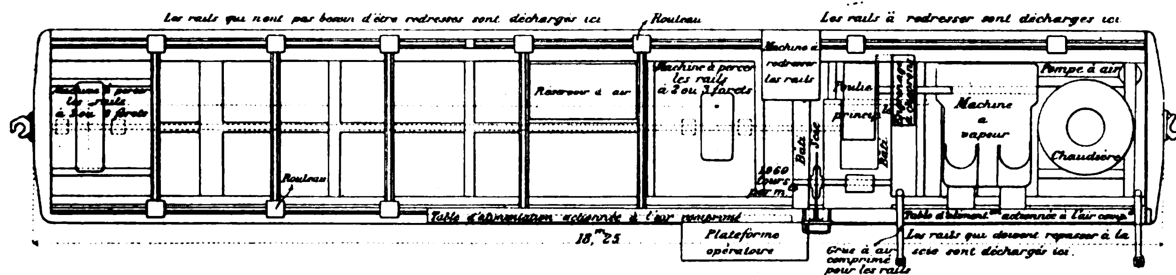


Fig. 1.

tandis que les 500 tonnes de chutes ont été vendues environ 38 fr la tonne, soit 19 000 fr en tout.

Sur le Michigan Central R. R. le prix a été de 4 fr par tonne pour l'opération complète.

J. G.

Trôlet automobile Lombard Gerin pour véhicules sur routes. *L'Industrie Electrique*, t. IX, p. 45, 10 février 1900. *Génie civil*, t. XXXVI, p. 224, 10 février 1900.

Le poids considérable des batteries d'accumulateurs qu'exige la propulsion des voitures sur route, la dépense supplémentaire d'énergie nécessitée par ce poids mort, enfin les frais d'entretien très élevés des batteries, ont conduit divers inventeurs à rechercher s'il ne serait pas possible de fournir l'énergie à ces voitures comme on le fait généralement aux voitures de tramways, c'est-à-dire au moyen d'une canalisation et d'un trôlet reliant la voiture à la canalisation.

Bien que ces recherches datent du début de l'application de l'électricité à la traction sur route, la question n'est encore que dans la période des essais. Deux grosses difficultés sont en effet à surmonter pour rendre pratique ce mode de propulsion : il faut en premier lieu que la voiture puisse se déplacer d'un bord à l'autre de la route pour éviter les obstacles qu'elle rencontre sur son trajet et que l'installation elle-même n'apporte aucune gêne au roulage des voitures ordinaires ; il faut en second lieu que, tout en permettant ces mouvements, la prise de courant ne puisse quitter la canalisation.

Il y a deux ans, dans le numéro de ce journal du 29 janvier 1898 (t. XIV, p. 228), nous signalions les essais faits par MM. Caffrey et Maxson, aux Etats-Unis, dans cet ordre d'idées. Des essais du même genre ont été faits par M. Lombard Gerin pendant ces six derniers mois, aux portes de Paris, sur une ligne de 1 km environ de longueur établie sur le quai d'Issy et passant devant l'usine génératrice du secteur de la rive gauche.

Pour résoudre la première des difficultés signalées plus haut, c'est-à-dire laisser la voiture libre d'aller d'un bord à l'autre de la route sans gêner la circulation des autres véhicules, la voiture est reliée à la prise de courant par un câble flexible qu'un dévidoir, placé dans la voiture, tend constamment tout en lui permettant de s'allonger ou de se raccourcir à volonté ; de plus, ce câble se trouve maintenu à une hauteur suffisante au-dessus du sol au moyen d'une haute perche que porte la voiture. Pour résoudre la seconde difficulté, et c'est dans cette solution que réside l'originalité du dispositif, M. Lombard Gerin a rendu la prise de courant automotrice et lui a donné une vitesse constamment un peu plus grande que celle du véhicule : de la sorte, le câble est tiré par la prise de courant au lieu de tirer celle-ci.

Cette prise de courant, représentée par les figures 1 et 2, se compose d'un moteur électrique M actionnant par friction deux roues E calées sur les axes de deux galets d'aluminium G qui roulent sur chacun des deux conducteurs de la canalisation, car il faut nécessairement ici un

conducteur d'aller et un conducteur de retour, la terre ne pouvant, comme les rails de tramways, servir au retour du courant. Une attache C,

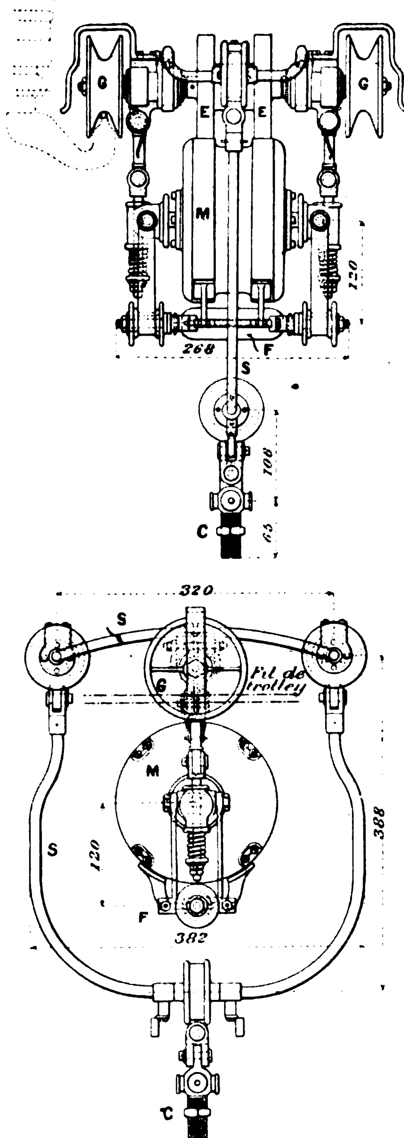


Fig. 1 et 2. — Elévation longitudinale et latérale d'un trôlet automoteur Lombard Gerin pour traction sur routes.

suspendue par un joint à la Cardan au cadre S, lui-même articulé, sert à fixer le câble. Un frein F complète le trôlet moteur dont le poids total n'est que de 18 kgr.

Les deux conducteurs de la canalisation sont nécessairement supportés de façon à ce que l'appareillage ne gêne pas le mouvement du trôlet; leurs points d'attache sont donc situés au-dessous d'eux. Ils sont autant que possible dans un même plan horizontal; toutefois, grâce aux articulations du cadre S, cette condition n'a pas besoin d'être réalisée très rigoureusement.

Le câble de jonction contient *six* fils conducteurs. Deux aboutissent respectivement aux deux galets G et aux bornes du moteur actionnant la voiture. Trois autres servent à amener au moteur du trôlet les courants triphasés qui l'actionnent et qui sont produits sur la voiture comme il va être indiqué. Le sixième est utilisé pour faire fonctionner le frein.

Pour obtenir les tournants triphasés, l'armature du moteur série actionnant le véhicule porte trois bagues reliées à trois points de l'enroulement distants l'un de l'autre du tiers de l'écartement angulaire de deux pôles inducteurs de même nom ; sur ces bagues appuient trois balais en communication avec les trois fils qui aboutissent à l'enroulement inducteur fixe du moteur du trôlet. Ce moteur, à cage d'écureuil, se trouve ainsi entraîné avec une vitessse angulaire proportionnelle à celle du moteur actionnant la voiture, de sorte que la vitesse de déplacement du trôlet se trouve être proportionnelle aussi à celle de la voiture. Les diamètres des roues de transmission sont calculés de façon à ce que la vitesse du trôlet soit un peu supérieure à celle de la voiture. L'excès de vitesse est absorbé par les glissements du moteur triphasé, ceux des roues E par rapport aux roues à bandages élastiques qui les actionnent et enfin ceux des galets G sur les conducteurs de la canalisation.

Le frein F a pour but d'empêcher le trôlet de descendre en arrière quand, la voiture s'arrêtant, le trôlet se trouve sur une partie déclive de la canalisation. C'est un frein électromagnétique dont les sabots viennent presser les roues de friction du moteur M. L'électro-aimant est en communication directe avec l'un des conducteurs de la canalisation et peut être relié à l'autre conducteur par le sixième fil contenu dans le câble de liaison du trôlet de la voiture.

Un commutateur placé sur la voiture permet d'inverser les connexions de deux des trois fils aboutissant au moteur du trôlet, et par conséquent de changer le sens de marche de cet appareil.

La voiture employée dans les esssais d'Issy

(une ancienne voiture électrique de M. Jeantaud) ne présentait aucune particularité.

Ces essais ont donné, dit-on, toute satisfaction.

INTERRUPTEURS

Interrupteur Max Levy à jet de mercure pour bobines d'induction. *Die Elektrizitaet*, t. IX, p. 10, 13 janvier 1900.

Dans un vase cylindrique contenant du mercure et un liquide isolant (pétrole ou alcool) est disposée suivant l'axe, une tige non conductrice *a a* traversant le couvercle en ébonite *b* que maintiennent les vis *p*. Cette tige porte : à sa partie supérieure, une poulie *c* à laquelle un petit moteur électrique communique une vitesse angulaire variant de 300 à 1000 tours : min.; à sa partie

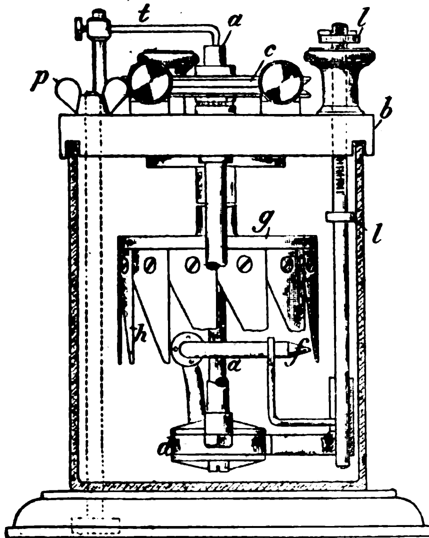


Fig. 1. — Coupe de l'interrupteur Levy à jet de mercure.

inférieure une petite pompe rotative enfermée dans une boîte en fer *d* ; et à sa partie médiane un disque métallique *g* sur lequel sont vissées 24 lames conductrices *h*. Ces lames sont mises en communication par un manchon entourant la tige *a a* et par le conducteur *t* avec l'un des pôles de la source fournissant le courant primaire de la bobine ; l'autre pôle de cette source est relié au mercure, qui remplit le fond de l'appareil, par la tige métallique *l*. Quand l'arbre *a a* est mis en rotation, le mercure, refoulé par le jeu de la pompe, s'échappe en un jet très délié par le tube effilé *f*. Le circuit primaire est fermé toutes les fois que le jet rencontre une des lames métalliques *h*. On peut faire varier la fréquence des interruptions soit en modifiant la vitesse de rotation, soit en modifiant le nombre des lames *h* ; on peut faire varier le rapport des durées d'ouverture et de fermeture du circuit en modifiant la forme des lames.

Suivant M. Max Levy, cet interrupteur permet d'obtenir entre les extrémités du secondaire d'une bobine des étincelles beaucoup plus longues qu'avec un interrupteur Foucault ou un interrupteur magnétique, la dépense d'énergie dans le courant primaire étant la même.

Interrupteur à mercure J. Lühne pour bobines d'induction. Brevet allemand n° 105 974.

Deux lames métalliques, servant d'électrodes et dont les sections sont deux arcs de circonférence concentriques, sont plongées dans du mercure contenu dans un récipient en matière isolante. Une lame diélectrique formant un cylindre fendu suivant une génératrice tourne autour de son axe qui coïncide avec l'axe commun horizontal des deux électrodes. Le niveau du mercure ne s'élevant pas au-dessus de cet axe, la fente du cylindre isolant se trouve pendant la rotation, tantôt au dessous, tantôt au-dessus de ce niveau. Pour cette dernière position de la fente les deux électrodes, dont l'une est intérieure et l'autre extérieure au cylindre tournant, se trouvent isolées l'une de l'autre par ce cylindre et le courant est rompu. Quand au contraire la fente se trouve dans le mercure la communication est rétablie entre les électrodes par le mercure.

Perfectionnement au vibrateur dans le vide de Mac Farlan Moore, par **Elster** et **Geitel**. *Wied Ann.*, t. LXIX, p. 483-487.

Le vibrateur de Moore [1] est un interrupteur à marteau ordinaire, mais fonctionnant dans le vide. Les interruptions sont tellement nettes qu'on obtient des étincelles aux extrémités d'une bobine, sans secondaire. Seulement, comme on emploie des forces électromotrices assez élevées, entre 50 et 100 volts, le contact fond immédiatement si le vibrateur cesse de fonctionner.

[1] Voir *L'Éclairage Électrique*, t. VIII, p. 48.

Pour remédier à cet inconvénient, Elster et Geitel emploient deux circuits, l'un à basse tension, l'autre à haute tension : le premier sert seulement à produire les forces magnétiques nécessaires au fonctionnement du vibrateur et à provoquer ainsi les interruptions du dernier.

Sur le même socle, MN, sont disposés : un interrupteur à mercure Q ; le vibrateur dans le vide V ; sous celui-ci, un petit électroaimant E (dessiné à côté sur la figure) ; 13 bobines à noyau de fer, dont on peut, au moyen de la manivelle

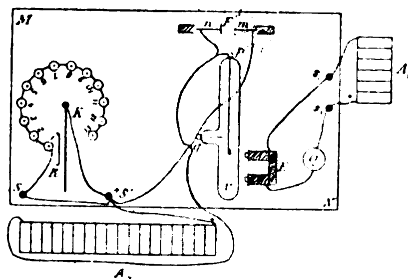


Fig. 1.

K introduire un nombre quelconque dans le circuit ; enfin l'exploseur F entre une plaque *n* et une pointe *m*. Le courant partant de la borne s_1, passe par l'interrupteur Q, l'électroaimant E, puis revient à la batterie A_1 par la borne s_2. L'interrupteur Q est construit sur le principe de la spirale de Roget : cette spirale est réglée de manière qu'elle vibre à peu près synchroniquement avec le ressort du vibrateur.

Le courant à haute tension est fourni par la batterie A_2, de 32 accumulateurs ; le pôle positif est relié à la borne S′ marquée + : cette borne est en communication métallique avec la manivelle K : tant qu'on procède au montage, K reste au cran d'arrêt, ce qui évite tout accident dû à une fausse manœuvre. Puis on relie S à la pointe *q* du vibrateur et le ressort *p* de celui-ci avec le pôle négatif de la batterie : *p* et *n* sont ensuite reliés par des fils fins aux pôles de l'exploseur.

Il faut remarquer que le courant en sens opposé produirait facilement de trop forts dégagements de chaleur dans l'intérieur du vibrateur.

Avec 60 ou 70 volts, les étincelles jaillissent dès que la manivelle touche le contact 13 : si on emploie une force électromotrice moindre, 30 ou 35 volts, on pousse avec précaution la manivelle sur les autres contacts, jusqu'à obtenir l'effet maximum. M. L.

Sur l'interrupteur électrolytique de Wehnelt, par **R. Federico** et **P. Baccei**. *Rendiconti dei Lincei*, t. VIII, p. 347, 17 décembre 1899.

Le mémoire de MM. Federico et Baccei nous donne des renseignements nouveaux et intéressants sur le fonctionnement de l'interrupteur de Wehnelt. Les auteurs ont déterminé le nombre et en quelque sorte la forme des interruptions.

L'interrupteur est en série avec une bobine d'induction de 15 mm d'étincelle et un solénoïde S (fig. 1) formé de plusieurs couches de

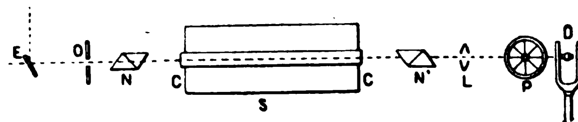


Fig. 1.

plusieurs couches de fil de cuivre de gros diamètre enroulé sur un noyau de bois, traversé dans sa longueur par un tube de verre CC, rempli de sulfure de carbone. Un faisceau lumineux envoyé par l'héliostat E traverse le tube entre deux nicols N et N′ et est concentré par la lentille L sur un rouleau de pellicule photographique P, mis en mouvement par un petit moteur électrique qui lui fait effectuer 40 tours par seconde. Les nicols sont primitivement à l'extinction ; si l'on fait agir l'interrupteur on observe après développement de la pellicule, une trace noire avec interruptions dégradées ; l'intensité de cette ligne est évidemment fonction de celle du courant interrompu.

L'examen de l'épreuve photographique montre que le temps pendant lequel le courant reste pratiquement interrompu est en moyenne à peu près le sixième de celui qui s'écoule entre deux interruptions successives. Jusqu'au moment de l'interruption, l'intensité du courant reste sensiblement constante puis décroît rapidement mais ne s'annule pas.

L'intervalle de deux interruptions successives est très variable, contrairement à ce qui a lieu pour la durée des interruptions. Lorsque le nombre des interruptions croît, la durée d'interruption ne semble pas varier, c'est le temps de passage du courant qui diminue.

Les auteurs ont étudié l'influence du magnétisme. L'interrupteur employé à cet effet est

constitué par un tube en verre C (fig. 2) de 2 cm

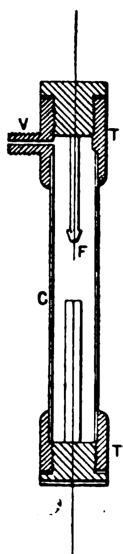


Fig. 2.

environ de diamètre extérieur, avec monture de laiton T et T' à ses extrémités. Le bouchon supérieur porte l'électrode de platine F constituée par un fil de 0,2 mm, long de 15 mm environ; la monture inférieure porte la lame de plomb de 10 cm² enroulée en spirale. Un électro-aimant en fer à cheval avec expansions polaires terminées par de petites surfaces ovoïdes entoure le tube. L'électrode de platine a sa pointe sur l'axe polaire ; l'intensité du champ magnétique est de 12 000 unités C. G. S. Un tel champ ne produit pas de changement dans le nombre des interruptions, mais la durée de l'interruption est légèrement diminuée et l'intensité du courant semble passer presque instantanément de sa valeur maxima à sa valeur minima. Dans l'épreuve photographique le trait noir s'interrompt presque brusquement. Ces résultats confirment ceux obtenus par Rossi [1], la plus grande rapidité de la rupture du circuit doit produire une force électromotrice induite plus élevée. En outre le fonctionnement sous l'influence du champ est encore plus irrégulier que dans les circonstances ordinaires, les interruptions ne se succèdent plus à intervalles égaux.

D'autres résultats intéressants de l'étude de Federico et Baccei sont ceux relatifs à l'influence de la nature de l'électrolyte. Le meilleur liquide est une solution aqueuse de bichromate de potassium et d'acide sulfurique (10 p. 100 de chacun d'eux en poids dans 100 d'eau). Pour une même intensité et une même force électromotrice primaire le nombre d'interruptions est plus grand avec cette solution qu'avec les autres. Voici les résultats de deux séries d'expériences faites sur le bichromate et sur l'acide sulfurique :

Solution de bichromate et d'acide sulfurique.

	I	II
Différence de potentiel aux bornes de l'interrupteur (volts)	38	59
Intensité du courant (ampères)	5	5.3
Nombre d'interruptions par seconde	820	940

Solution d'acide sulfurique à 10 p. 100.

	I	II
Différence de potentiel	34	47
Intensité	5.3	6.
Nombre d'interruptions	580	620

En outre de ces avantages, la solution au bichromate n'entre pas en grande agitation, se maintient très limpide, le dégagement gazeux est localisé autour de l'électrode active et ne s'étend pas au reste du liquide. La surface liquide est tout à fait tranquille et l'on n'entend pas le crépitement violent des appareils habituels. L'électrode de plomb reste bien polie et la solution même au bout d'un certain temps ne se trouble pas. L'échauffement du liquide est moins rapide et n'atteint 80° qu'après une marche prolongée.

Le seul inconvénient de cette solution est qu'elle s'altère spontanément avec le temps, le liquide noircit et tend à perdre ses qualités ; mais ceci n'arrive qu'après un long usage et la solution n'est pas inférieure alors à celle de l'acide sulfurique seul. G. Goisot.

Sur l'interrupteur de Wehnelt, par **O.-M. Corbino**. *Rendiconti dei Lincei*, t. VIII, p. 352, 17 décembre 1899.

En discutant le développement analytique donné par Simon [1] sur le fonctionnement de l'interrupteur de Wehnelt [2], M. Corbino rap-

[1] *Il Nuovo Cimento*. t. X, p. 199, 1899.

[1] *L'Éclairage Électrique*, t. XXI, p. 251.

[2] Lamotte, *L'Éclairage Électrique*, t. XXI, p. 41, 127, 180, 250.

pelle que le nombre des interruptions décroît lorsque la self-induction du circuit augmente ; en réalité ce n'est pas la self-induction propre du circuit primaire mais sa self-induction *apparente* en quelque sorte, c'est-à-dire celle qui dépend de la présence des autres circuits ou masses métalliques qui réagissent sur celui dont il subit l'induction. Quand le circuit secondaire et les autres circuits parasites sont en présence, il n'est pas possible de déterminer *à priori* la self-induction apparente du primaire ; on pourrait y parvenir en substituant à la self-induction inconnue une autre que l'on puisse faire varier d'une manière mesurable jusqu'à ce que, la résistance ohmique totale du circuit restant la même, on observe un son de même hauteur que celui qui se produirait avec la première self-induction.

M. Corbino remarque que la formule donnée par Simon n'est pas entièrement satisfaisante ; en effet lorsque la self-induction L varie, la quantité de chaleur développée par le fait de l'interruption à l'anode sous forme d'étincelle de rupture varie aussi ; cette étincelle devient plus bruyante et plus brillante lorsque L croît ; l'échauffement produit à intervalle très rapide à l'anode doit modifier la constante C_1 qui serait alors fonction de L ; la formule ne permet pas le contrôle de l'expérience en ce qui concerne L. En outre, l'hypothèse que la constante de temps du circuit est une petite fraction de la période est discutable ; si elle est admissible dans le cas des expériences de Simon où la résistance du circuit est très grande, il n'en est plus ainsi dans le cas ordinaire où le courant est interrompu avant que la période variable de fermeture ait cessé.

L'auteur laissant la discussion théorique de côté, rapporte un certain nombre d'expériences intéressantes.

I. — Un circuit comprend une batterie d'accumulateurs, un interrupteur de Wehnelt, un ampèremètre et une bobine de trois couches de fil de 2 mm ; dans la cavité de celle-ci peut être introduit un faisceau de fils de fer doux de 5 cm de diamètre. Si l'on introduit celui-ci, en faisant croître la résistance du circuit le nombre des interruptions diminue et on peut parvenir à en observer une toutes les 5 à 6 secondes.

Le bruit produit est sec, comme celui d'un interrupteur ordinaire, l'aiguille de l'ampèremètre éprouve une légère perturbation et revient aussitôt en position. Si la résistance augmente, on observe l'électrolyse silencieuse.

Au-dessus de l'intensité correspondante, que l'on peut appeler *intensité critique*, le nombre des interruptions augmente rapidement. Ainsi, comme l'a indiqué Simon, un très petit excès sur la chaleur propagée à la masse pour l'intensité critique suffit à produire l'interruption.

II. — Le même phénomène s'observe sans noyau de fer quoique les interruptions commencent moins bruyantes que dans le cas précédent. Si pendant la période de l'électrolyse silencieuse, on introduit le noyau de fer même très lentement, les interruptions commencent et se produisent à 5 ou 6 secondes d'intervalle quand tout le noyau est introduit. Les interruptions cessent si le fer est porté à l'écart. Cette action du fer ne semble pas explicable avec la théorie thermique seule.

III. — Le fil de platine de l'interrupteur W est relié au pôle positif d'une batterie de 48 éléments (fig. 1) ; à l'autre électrode le conducteur

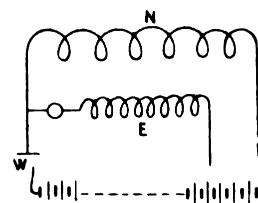


Fig. 1.

bifurque : dans une dérivation, est insérée la bobine N, qui entoure le noyau de fer ; dans l'autre un ampèremètre et un électro de Ruhmkorff E. L'autre extrémité de l'électro est reliée à la plaque négative du 6e accumulateur ; le circuit N est relié à volonté à la même plaque ou à celle du premier accumulateur. Dans le premier cas le circuit interrompu se bifurque en deux et l'on a en E une intensité moyenne de 6,5 ampères ; dans le second le courant variable et le courant continu des 5 accumulateurs sont superposés en E. Ce second courant opposé au premier avait une valeur constante de 6,5, de sorte que par superposition il circule en E des quantités égales d'électricité dans les deux sens. L'aiguille de l'ampèremètre reste au zéro, l'électro est complètement désaimanté.

Si l'on dispose les connexions de façon que les courants opposés se superposent en N, l'at-

traction magnétique du noyau de N est affaiblie mais non annulée. Les courants induits dans la masse étant évités, on pourrait attribuer cette diminution à un retard d'aimantation du noyau pour suivre les variations très rapides du champ magnétisant. Mais ce retard n'est pas nécessaire pour l'explication ; en effet la force portante du noyau est proportionnelle au carré de l'intensité d'aimantation et par suite au carré de l'intensité du courant, en supposant constante la susceptibilité du fer. Avec un courant périodiquement variable, l'attraction est proportionnelle à $\frac{1}{T}\int_0^T i^2 dt$; ajoutant le courant constant — I, on a pour l'attraction

$$\frac{1}{T}\int_0^T \left(i - I\right)^2 dt = \frac{1}{T}\left[\int_0^T i^2 dt + I(IT - 2\int_0^T idt)\right]$$

et comme la quantité totale passant dans un sens est nulle $IT = \int_0^T idt$ et l'attraction est proportionnelle à

$$\frac{1}{T}\left[\int_0^T i^2 dt - I^2 T\right]$$

c'est-à-dire égale à la différence entre les attractions produites séparément par le courant variable et par le courant constant. Ces considérations s'appliquent à l'effet Joule.

IV. — On envoie dans le primaire d'un transformateur le courant interrompu du Wehnelt, une bobine est insérée dans le circuit du secondaire du transformateur fermé sur une résistance quelconque. Un tube de Braun est dirigé perpendiculairement à l'axe de la bobine, le cercle

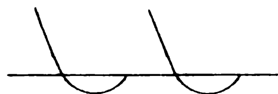


Fig. 2.

fluorescent examiné au miroir tournant a la forme ci-contre (fig. 2).

L'auteur détermine ensuite la formule qui donne l'intensité dans le secondaire en fonction du temps et des constantes des circuits.

$$i = \frac{A'}{R'}(e^{\rho t} - e^{\rho' t}) + \frac{ME}{L'R} e^{\rho' t}$$

où A' est une constante, R la résistance du primaire, E la force électromotrice agissante, M le coefficient d'induction mutuelle, L' et R' l'inductance et la résistance du secondaire, ρ et ρ' les racines de la caractéristique. G. G.

Courants dissymétriques obtenus dans le secondaire d'un transformateur, en interposant dans le primaire un interrupteur de Wehnelt, par **O. M. Corbino**, *Rendiconti dei Lincei*, t. VIII, p. 359, 17 décembre 1899.

Le primaire d'un transformateur à circuit magnétique ouvert est en série avec un Wehnelt et une batterie d'accumulateurs (fig. 1) ; le circuit du secondaire comprend un ampèremètre A, un excitateur M, un électro-aimant E et un certain nombre de lampes L en dérivation.

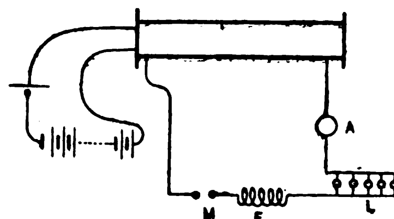


Fig. 1.

M. Corbino a observé les faits suivants : si on remplace l'excitateur par un conducteur métallique, l'ampèremètre reste au zéro et l'électro ne s'aimante pas ; si on retablit l'interruption, une étincelle bleuâtre très brillante éclate entre les boules, elle est semblable à l'arc obtenu avec une force électromotrice continue. Examinée au miroir tournant, elle est intermittente, mais chaque trait lumineux se prolonge pendant plus de la moitié de l'intervalle de deux éclairs successifs, tandis que l'incandescence de l'anode du Wehnelt est due à des éclairs très brefs pour ainsi dire instantanés.

L'ampèremètre a une déviation constante de plusieurs ampères dans le sens qui correspond au courant induit d'ouverture.

L'électro s'aimante fortement.

L'éclat des lampes augmente, indiquant une augmentation de l'intensité efficace ; ceci peut être confirmé par un électromètre Mascart.

Le son de l'interrupteur s'abaisse légèrement, le nombre de vibrations diminue de $\frac{1}{20}$ tout au plus ; il est toujours plus élevé que celui observé avec un circuit secondaire ouvert,

dans ce dernier cas on sait que l'inductance du primaire n'est pas altérée par le secondaire.

Si l'expérience est prolongée, on peut observer une modification complète dans l'aspect de l'étincelle ; celle-ci est remplacée par une tache pourpre qui couvre avec de légères ramifications une calotte de la sphère reliée à l'extrémité négative du secondaire par rapport au courant d'ouverture. Elle devient instantanée, et, de silencieuse qu'elle était, produit alors un son de même hauteur que l'interrupteur. L'éclat des lampes et la déviation de l'ampèremètre diminuent. Enfin la sphère (massive, 14 mm de diamètre) négative s'échauffe et devient rapidement rouge.

On observe les mêmes phénomènes si l'on substitue à l'électro une self-induction sans fer ; si même on supprime toute résistance inductive extérieure, le phénomène se produit avec une intensité plus grande ; mais son étude devient pénible par suite de l'échauffement de l'excitateur qui est rapidement en court-circuit ; il en résulte une diminution de l'inductance apparente du primaire et l'interrupteur s'arrête.

Si aux extrémités SS′ du secondaire (fig. 2)

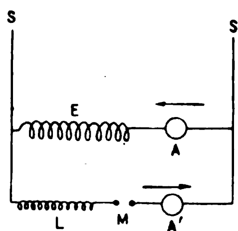


Fig. 2.

on relie deux circuits dérivés, l'un contenant l'électro E et un ampèremètre A, l'autre une petite self-induction L, un excitateur M et un ampèremètre A′, on observe en A′ une déviation dans le sens du courant d'ouverture (6 ampères) et en A une déviation opposée (4 ampères).

Pour l'auteur, deux modes d'explication se présentent : ou bien le courant d'ouverture passe seul par l'interruption, ou les deux courants induits passent mais leur passage développe dans l'arc une force électromotrice dans le sens du courant d'ouverture.

Pour justifier la première hypothèse, on peut remarquer que la force électromotrice dans le secondaire est beaucoup plus grande à l'ouverture qu'à la fermeture du primaire ; par suite, dans la première expérience, le courant d'ouverture passerait seul, d'où aimantation de l'électro et déviation de l'ampèremètre ; dans la deuxième, le courant d'ouverture par suite de la self-induction de E passerait dans M tandis que le courant de fermeture de moindre force électromotrice et de plus grande durée passerait dans le circuit métallique.

En faveur de la deuxième hypothèse, est le fait que l'arc dure un peu plus de la moitié de la période, mais les deux courants ne se propagent pas dans les mêmes conditions, puisqu'une des deux électrodes s'échauffe plus que l'autre.

Rappelons à ce propos que Jamin et Manœuvrier [1] ont observé que si les électrodes d'un arc alternatif se réchauffent inégalement par suite d'une différence dans leur nature ou leurs dimensions, un ampèremètre inséré dans le circuit indique le passage d'un courant continu de l'électrode froide à l'électrode chaude, dû d'après Jamin à la force contre-électromotrice de l'arc qui ne serait pas la même dans les deux sens par suite de leur différence d'échauffement. La dissymétrie artificielle dans les expériences serait reproduite dans les expériences de M. Corbino par la différence dans les forces électromotrices inverses.

L'auteur paraît d'ailleurs se rallier à l'hypothèse du passage des deux courants induits et fait à ce sujet quelques intéressantes remarques sans pouvoir conclure encore cependant.

Ainsi, si on relie la batterie d'accumulateurs et le Wehnelt au primaire d'un Ruhmkorff, et si les extrémités du secondaire forment un excitateur, on sait que l'on observe une flamme arquée d'apparence continue. Si l'on met les boules en communication avec les armatures de deux bouteilles de Leyde en cascade, la première étincelle est bruyante et lumineuse, les autres ont le même aspect qu'en l'absence des condensateurs ; mais si l'on souffle vivement sur la flamme elle se transforme en un torrent bruyant d'étincelles très vives. Il semble résulter de là que, étant donnée la grande fréquence des étincelles (2500 environ) l'air reste modifié d'une étincelle à la suivante de manière à établir un court-circuit permanent rendant inutile la présence des condensateurs qui reprennent

(1) *Journal de phys.*, 2e série, t. I, p. 437, 1882.

leur action si un jet d'air renouvelle constamment l'air interposé entre les sphères.

G. Goisot.

DÉCHARGE ÉLECTRIQUE

Déperdition de l'électricité par les pointes par **H. Sieveking**. *Dr. Ann.* (1), t. I, p. 299-312, février 1900.

L'auteur a mesuré la quantité d'électricité qui s'écoule par une pointe placée en face d'un disque conducteur ou entourée d'une boule conductrice.

Il a trouvé que la formule de Warburg (1) représentant la quantité E d'électricité écoulée,

$$E = CV(V - M)$$

se vérifie pour les différences de potentiel comprises entre 5000 et 9000 volts. Lorsque les différences de potentiel sont plus petites, cette formule n'est plus applicable et on obtient de meilleurs résultats en prenant la suivante :

$$E = a(V - b)$$

où a et b sont des constantes dépendant des conditions expérimentales.

La constante M ou la constante b ont la même signification : elles représentent l'une et l'autre la différence de potentiel minima nécessaire pour produire la déperdition par la pointe.

Cette différence de potentiel minima croît avec la distance de la pointe à la surface opposée : d'abord plus vite que cette distance puis quand la distance dépasse 5 cm, très lentement. Elle est toujours plus petite pour l'électricité négative que pour l'électricité positive : sous la même différence de potentiel, la vitesse de déperdition de l'électricité négative est aussi plus grande que celle de l'électricité positive.

On ne constate pas de diminution dans la vitesse de déperdition quand la pointe est enfermée dans un vase à parois continues, comme l'avait observé Himstedt avec une pointe reliée à l'un des pôles d'un appareil de Tesla.

Tant qu'il ne se trouve dans le champ qu'un seul conducteur, la quantité d'électricité qu'il reçoit de la pointe varie peu avec son orientation ; cependant, cette quantité présente toujours un maximum, assez peu prononcé d'ailleurs, dans la direction de l'axe de la pointe. L'électricité négative se disperse davantage, tandis que l'électricité positive s'éloigne moins de l'axe de la pointe.

Dans l'oxygène, l'azote, le gaz carbonique, la déperdition de l'électricité négative est toujours plus grande ; mais la différence est moins grande entre les deux espèces d'électrisation dans l'oxygène que dans l'air ; elle est plus grande au contraire dans le gaz carbonique.

M. L.

Différence de potentiel explosive dans les gaz, par **A. Orgler**. *Dr. Ann.*, t. I, p. 159-175, janvier 1900.

La cohésion électrique définie par Maxwell comme la force électromotrice maxima qui peut agir dans un gaz sans provoquer de décharge n'est pas une caractéristique du gaz.

Le quotient $\frac{V}{\delta}$ de la différence de potentiel par la longueur de l'étincelle que prend Maxwell pour mesure de cette cohésion décroît d'abord lentement quand la distance explosive décroît, puis augmente rapidement et atteint de très grandes valeurs pour les très petites distances explosives.

La cohésion électrique telle que la définissent Baille et Paschen, rapport entre la différence de potentiel explosive dans un gaz et la différence de potentiel explosive dans l'air, toutes les conditions étant les mêmes, n'est pas non plus une caractéristique du gaz, mais varie avec la pression.

Selon Orgler, il faut pour obtenir une grandeur spécifique de chaque gaz procéder de la manière suivante.

Si on considère les courbes qui représentent la variation de la différence de potentiel V avec la distance explosive δ, quand la pression P reste constante, on remarque que ces courbes ne convergent pas vers l'origine. En d'autres termes, à une distance explosive infiniment petite correspond une différence de potentiel explosive encore finie. La résistance qu'offre au passage de l'électricité la surface commune à l'air et au métal de l'électrode est donc infinie.

Cette conclusion se trouve confirmée par les expériences de Peace, qui n'a pu obtenir d'étincelle dans l'air, si voisines que fussent les deux

(1) A partir du 1er janvier 1900, les *Annalen der Physik und der Chimie* paraissent avec le titre d'*Annalen der Physik*, sous la direction du professeur Drude. Cette publication sera désignée par l'abréviation *Dr. Ann.*

électrodes, quand la différence de potentiel restait inférieure à 300 volts, quelle que fût d'ailleurs la pression.

Il y a donc lieu de distinguer dans la différence de potentiel explosive A deux termes

$$A = a + \alpha.$$

Le premier terme a représente la différence de potentiel qui est employée à vaincre la résistance au passage du gaz au métal ou inversement : le second terme, celle qui est employée à percer la couche de gaz : c'est ce dernier seulement qui peut donner une mesure de la cohésion du gaz.

Dans les mêmes conditions, on aura pour l'air

$$B = b + \beta$$

Le quotient

$$k = \frac{a}{b}$$

sera la cohésion spécifique du gaz, comparée à celle de l'air. De ces équations de définition, on déduit :

$$k(B - \beta) = A - \alpha$$

Si on admet que α et β sont indépendants de δ et que k est aussi indépendant de δ, il vient :

$$k = \frac{dA}{d\delta} : \frac{dB}{d\delta}$$

Comme la variation de A et de B avec δ n'est pas très rapide, on pourra substituer aux différentielles les différences finies déterminées dans les expériences.

Les nombres obtenus par Orgler dans ses expériences sur l'air et le gaz carbonique donnent effectivement une valeur de k à peu près constante.

Les électrodes en zinc et en fer donnent les mêmes résultats, ce qui indique que la nature du métal n'a pas d'influence sur la valeur des résistances de passage. M. L.

Influence d'une charge électrostatique sur la décharge dans les gaz raréfiés, par **J. Stark**. *Dr. Ann.*, t. I, p. 430-437, février 1900.

1. Il est à prévoir que l'approche d'un corps électrisé doit modifier le champ électrique au voisinage des électrodes d'un tube à gaz raréfié et par conséquent modifier les conditions de la décharge. Le phénomène doit se produire surtout quand on emploie une cathode incandescente et une anode froide. Dans ce cas l'approche d'une charge négative retarde la décharge, de même qu'une charge négative de la paroi. Une charge positive ne retarde pas la décharge et peut même dans certains cas la provoquer.

Dans les tubes cylindriques à électrodes coaxiales, l'influence d'une charge électrostatique se démontre aisément. On établit entre les électrodes une différence de potentiel telle que la décharge ne se produise pas, mais qu'une légère élévation de cette différence de potentiel suffise à la produire, puis on rapproche par derrière l'électrode un corps dont l'électrisation a le même signe que celle de l'électrode : la décharge a lieu. On obtient le même résultat en éloignant dans la direction de l'axe du tube une charge de signe contraire à celle de l'électrode.

D'une manière générale, la décharge est facilitée quand on augmente la différence de potentiel entre les électrodes, soit en approchant un conducteur, soit en approchant un corps électrisé, soit en communiquant une charge aux parois ; la décharge est contrariée, si la différence de potentiel se trouve diminuée par l'une de ces opérations.

2. La différence de potentiel fournie par la batterie est un peu supérieure à la différence minima nécessaire à la décharge ; en sorte que celle-ci est discontinue, comme on peut le vérifier à l'aide du téléphone. En touchant avec le doigt la paroi au voisinage de la cathode, on entend un son faible, généralement très aigu. Ce son provient des variations d'intensité dans les attractions ou les répulsions qu'exerce la cathode sur la paroi ou sur le conducteur qu'on en approche. Le son est d'autant plus fort que la différence de potentiel entre les électrodes est plus grande ; mais il diminue quand le diamètre du tube augmente.

On peut obtenir un son très intense en enroulant autour du tube, sans la serrer, près de la cathode une bande de clinquant large de 0,5 à 1 cm : le son devient perceptible jusqu'à une distance d'une vingtaine de mètres, surtout si la bande de clinquant est reliée à un conducteur de quelque capacité ; plus cette capacité est grande, plus le son est grave.

Un condensateur à lames de clinquant et de paraffine, relié à la bande de clinquant, émet

aussi un son dans les mêmes circonstances.

3. Un tube a comme électrodes deux fils formant léger ressort et placées normalement à l'axe, à 50 cm environ l'un de l'autre. Quand la pression est réduite de manière que la différence de potentiel soit supérieure à 1500 volts, et que la décharge est discontinue, la cathode prend un mouvement vibratoire très prononcé, tandis que l'anode reste immobile. Un téléphone inséré dans le circuit fait entendre deux sons, l'un grave, l'autre aigu : c'est ce dernier qui correspond à la période de la décharge, tandis que l'autre résulte des vibrations de la cathode. Ces dernières ne sont donc pas synchrones avec la décharge.

L'amplitude des vibrations de la cathode est d'autant plus grande que la différence de potentiel est plus grande. Aussi elle diminue quand on porte la cathode à l'incandescence : au rouge blanc, la cathode devient immobile.

La plupart des phénomènes décrits s'observent exclusivement à la cathode, il faut en chercher la raison dans le fait que la chute de potentiel est plus grande à l'anode qu'à la cathode : les variations sont aussi plus accusées au voisinage de cette dernière, tandis que l'anode ne s'écarte pas beaucoup d'un état moyen. M. L.

Figures de Lichtenberg dans l'intérieur des tubes de Crookes, par **E. Riecke**. *Dr. Ann.*, I, 414-420, février 1900.

La poudre de minium projetée sur un tube de Crookes de forme sphérique s'attache principalement sur la paroi autour de la tache fluorescente qui fait face à la cathode : elle y dessine des taches qui se prolongent par des sortes de languettes du côté de la tache fluorescente. Du reste, on peut remarquer ces dessins, même sans projeter de poudre, quand on observe attentivement la fluorescence. Celle-ci n'est pas uniforme, mais présente des bandes sombres qui se dirigent vers l'anode du tube suivant un chemin plus ou moins courbe.

Souvent une bande qui part de l'anode recule brusquement. Ce phénomène est dû très probablement à la réaction de l'électricité négative, qui en s'amassant sur certains points, provoque en ces points une diminution de la vitesse des rayons cathodiques et en même temps une déviation de ces rayons. La fluorescence devient plus faible sur les régions de la paroi recouvertes d'électricité négative, qui apparaissent alors en sombre.

Quand le tube est devenu dur et que la décharge se fait à travers l'air par des aigrettes, on renverse le sens du courant; la décharge passe de nouveau dans le tube : mais tout juste.

A la place des languettes apparaissent des arborescences très déliées. Ces arborescences s'observent également autour de l'anneau fluorescent qui entoure la cathode et provient des rayons émis par la tranche de celle-ci : elles sont dirigées vers l'extérieur du tube. Elles paraissent se former progressivement et sont dues aussi à l'électricité négative qui se glisse peu à peu le long du verre.

Sur un tube en forme de poire, où la pression était plus élevée et donnait peu de rayons de Röntgen, la fluorescence était limitée vis-à-vis de la cathode, par un anneau vert clair, devant lequel se trouvait, du côté extérieur, une zone sombre étroite. Cette zone est limitée par un bord droit : mais si on déplace la tache fluorescente en faisant agir un aimant sur les rayons, de petites tiges ou de petites pointes se détachent de ce bord ; elles se ramifient peu, mais leur base se rapprochent peu à peu de l'extérieur et le bord de la zone finit par reprendre son aspect primitif. M. L.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

ACADÉMIE DES SCIENCES

Séances du 19 et du 26 mars.

Sur la télégraphie multiplex : relai télémicrophonique différentiel, par **E. Mercadier**. *Comptes rendus*, t. CXXX, p. 770-773.

On connait le principe du système multiplex de M. Mercadier : au poste de départ se trouvent des électro-diapasons produisant des courants périodiques de fréquences diverses ; au poste d'arrivée sont des monotéléphones dont chacun vibre sous l'influence d'un de ces courants ; on peut ainsi transmettre sur une même ligne simultanément les courants donnés par

plusieurs diapasons, les téléphones récepteurs se chargeant de séparer les composantes du courant résultant.

Dans sa note à l'Académie, M. Mercadier décrit un nouvel appareil, appelé *relai télémicrophonique différentiel* qui permet de séparer les signaux formés par des courants ondulatoires sinusoïdaux de périodes variant de 1/480 à 1/900 de seconde, en 12 degrés égaux à un demi-ton, depuis le si_2 jusqu'au *la* dièze$_4$. Avec un appareil de ce genre on peut donc transmettre simultanément 12 télégrammes dans un sens ; deux appareils placés aux deux extrémités de la ligne permettront par suite de transmettre ou de recevoir simultanément 24 télégrammes.

Cet organe se compose : 1° d'un téléphone dont le diaphragme a 10 cm de diamètre ; sur le noyau de l'électro-aimant sont enroulés deux fils identiques ; 2° d'un microphone composé d'une petite plaque de charbon vissée au diaphragme et d'un crayon en charbon appuyé sur la plaque par un ressort plat et mince fixé à la monture du téléphone.

L'un des fils de l'électro-aimant est relié au circuit de ligne ; l'autre à une ligne artificielle afin d'éteindre les effets des transmissions sur les récepteurs du poste de départ, d'après un mode connu sous le nom de *différentiel* dans la télégraphie duplex par courants continus. Les n courants ondulatoires transmis simultanément, traversent le premier fil sans se confondre en vertu de la loi générale des petits mouvements. La membrane téléphonique vibre sous l'action simultanée de tous ces courants et communique sans les altérer les n mouvements vibratoires qui en résultent au contact microphonique. Ce contact les transmet au fil primaire d'une bobine d'induction, et celui-ci aux n monotéléphones récepteurs correspondants.

Il est à remarquer que les n signaux simultanément émis au départ se trouvent ainsi *triés* et *individualisés* pour ainsi dire à l'arrivée, après avoir subi auparavant six transformations d'énergie qui n'en ont pas altéré la période. Il y a donc dans ce système une vérification objective aussi complète que possible de la loi mécanique des petits mouvements [1].

[1] Les essais pratiques qui ont été déjà faits sur des circuits de 600 km à 800 km de longueur, entre Paris et Toulouse, Paris et Bordeaux, Paris et Pau, ont permis de constater :

1° Qu'un grand nombre d'employés peuvent transmettre des télégrammes simultanément dans n'importe quel sens entre deux postes extrêmes : on a pu ainsi utiliser jusqu'à dix employés, et l'on pourrait aller jusqu'à vingt-quatre ;

2° Que l'on peut intercaler, soit en série, soit en dérivation, entre deux postes extrêmes, des postes intermédiaires travaillant *simultanément* entre eux et avec les premiers, sans qu'il en résulte la moindre gêne : c'est ainsi qu'on a pu intercaler dans le circuit Paris-Bordeaux les postes de Tours, Poitiers et Angoulême, et le poste de Bordeaux entre Paris et Pau ;

3° Que le système peut être employé sur tous les circuits où le téléphone peut fonctionner, et que, outre l'avantage considérable de pouvoir répartir les transmissions dans des postes échelonnés le long d'un circuit, il possède un rendement susceptible d'être supérieur à tous les systèmes de télégraphie connus.

Relations entre la conductibilité électrolytique et le frottement interne dans les solutions salines, par **P. Massoulier**. *Comptes rendus*, t. CXXX, p. 773-775.

Depuis que M. G. Wiedemann [1] a indiqué une relation entre la résistance électrique et le frottement interne des solutions salines, un grand nombre de savants, tels que Grottian [2], Grossmann [3], Bender [4], Stéphan [5], ont accumulé les mesures à ce sujet. MM. Bouty, Foussereau et Poincaré [6] ont recherché des relations analogues dans le cas des électrolytes fondus. De tous ces travaux il résulte que la résistance électrique et le frottement interne d'un électrolyte varient dans le même sens et que ces variations sont du même ordre de grandeur, mais la loi de proportionnalité est loin d'être vérifiée et les diverses autres lois qui ont été proposées ne se vérifient pas davantage.

L'auteur a pensé que le phénomène serait plus facile à débrouiller s'il pouvait avoir des

[1] Wiedemann, *Annales de Poggendorf*, t. XCIX, p. 205 ; 1856.

[2] Grottrian, *Annales de Poggendorf*, t. CLVII, p. 130, 146, 257 ; 1876. *Annales de Wiedemann*, t. VIII, p. 529, 554 ; 1879.

[3] Grossmann, *Annales de Wiedemann*, t. XVI, p. 1882 ; t. XVIII et XIX, 1883.

[4] Bender, *Annales de Wiedemann*, t. XXII, 1884, t. XXXI, 1887.

[5] Stéphan, *Annales de Wiedemann*, t. XVII, 1882.

[6] Foussereau, *Annales de Chimie et de Physique*, 6e série, t. V. — Poincaré et Bouty, *Annales de Chimie et de Physique*, 6e série, t. XVII. — Poincaré, *Annales de Chimie et de Physique*, 6e série, t. XXI, p. 289.

solutions présentant des variations de résistance électrique et de frottement interne plus grandes qu'avec les liquides étudiés jusqu'ici. Dans ce but il a pris des solutions de sulfate de cuivre dans des mélanges d'eau et de glycérine. Les mesures de résistance ont été faites par la méthode électrométrique, puis au moyen de courants alternatifs; celles du frottement interne au moyen de tubes fins, par la méthode de Poiseuille. Les résultats des mesures faites à 15° montrent un accord remarquable entre les valeurs de la résistance et du frottement [1]; ceux des mesures faites à 0° montrent au contraire que la loi de proportionnalité est loin de s'appliquer à cette température. L'auteur pense que l'écart est dû à une variation dans la valeur de l'ionisation de la solution.

Fluorescence de certains composés métalliques soumis aux rayons Rœntgen et Becquerel, par **Paul Bary.** *Comptes rendus*, t. CXXX, p. 776-778.

En soumettant à l'action des rayons Rœntgen de nombreux sels métalliques, l'auteur a reconnu que seuls devenaient fluorescents certains des sels des métaux alcalins et alcalino-terreux suivants : lithium, sodium, potassium, rubidium, césium, magnésium, calcium, strontium et baryum ; les fluorures, chlorures, bromures et iodures de ces métaux sont généralement fluorescents ; les sulfates, carbonates, azotates, ne le sont généralement pas.

En soumettant ensuite ces mêmes sels à l'action des rayons émis par une substance radioactive prêtée par M. et Mme Curie, M. Bary a constaté que tous les corps fluorescents avec les rayons X le sont aussi avec les rayons Becquerel.

En comparant les résultats obtenus dans ces expériences avec ceux trouvés par Edmond Becquerel dans ses études sur la lumière, on peut conclure que les mêmes familles de corps qui donnent des sels phosphorescents à la lumière donnent aussi les composés que rendent lumineux les rayons X et les rayons Becquerel.

Restauration des fonctions du cœur et du système nerveux central après l'anémie complète, par **Frédéric Battelli.** *Comptes rendus*, t. CXXX, p. 800-802.

L'anémie complète du cœur et du système nerveux central d'un chien était produite soit par l'électrisation du cœur, soit par la suffocation, soit par la chloroformisation. La restauration de leur fonction était obtenue par la compression rythmique des ventricules au moyen de la main introduite dans le corps de l'animal. On a pu rappeler ainsi à la vie des chiens dont le cœur avait cessé de battre depuis 10 et même 20 minutes. L'auteur pense que ce procédé peut être appliqué d'une façon efficace chez l'homme en cas d'arrêt du cœur causé par les accidents de l'industrie électrique.

Déviation du rayonnement du radium dans un champ électrique, par **Henri Becquerel.** *Comptes rendus*, t. CXXX, p. 809-815.

En présentant à l'Académie, il y a deux mois, quelques-uns des résultats de ses recherches sur la déviation magnétique des rayons du radium, M. Becquerel signalait les difficultés que présenterait la mise en évidence de l'influence d'un champ électrostatique sur ces rayons [1]. L'auteur est parvenu à vaincre ces difficultés en faisant passer entre deux plateaux électrisés le rayonnement du radium et recevant ce rayonnement sur une plaque photographique enveloppée de papier noir, il a pu constater que le faisceau est repoussé par le plateau négatif, ce qui est conforme à l'existence des charges négatives emportées par le rayonnement comme l'ont montré récemment M. et Mme Curie ; de plus, il y a dispersion du faisceau comme dans le champ magnétique, et pour la même cause, qui est l'hétérogénéité du rayonnement [2].

---

(1) Voici ces résultats :

	Résistance	Frottement interne
Solution sans glycérine	100	100
Solution avec 1/48 de glycérine	104	105
» 1/24 »	111	114
» 1/12 »	126	132
» 1/6 »	161	160
» 1/3 »	289	298

(1) Voir *Écl. Élect.*, t. XXII, p. 237, 10 février 1900.

(2) La disposition expérimentale ayant donné les résultats les plus nets est la suivante :

Deux petits plateaux de cuivre, rectangulaires et de 3,45 cm de hauteur, ont été disposés verticalement et fixés par de la paraffine de façon à laisser entre eux un intervalle d'air de 1 cm d'épaisseur. Dans cet intervalle, le champ électrique était mesuré sensiblement par la différence de potentiel des plateaux, évaluée en unités C. G. S. L'un des plateaux étant à la terre, l'autre était en relation avec une batterie de six grandes jarres dont la capacité réduisait considérablement la vitesse de la

En mesurant la distance du point où un rayon dévié par le champ vient rencontrer la plaque photographique au point où ce même rayon rencontrerait la plaque si le champ n'existait pas on peut en déduire la valeur rapport de la charge e d'une molécule au produit mv^2 de sa masse matérielle par le carré de sa vitesse à son entrée dans le champ. En effet il est facile de voir qu'une telle molécule entrant normalement aux lignes de force d'un champ d'intensité F décrit dans ce champ une parabole de paramètre $\frac{mv^2}{eF}$ et, comme au sortir du champ la molécule se meut suivant la tangente à la parabole, on a tous les éléments de la trajectoire.

Mais d'autre part on sait que cette même molécule décrit dans un champ magnétique d'intensité H une courbe dont le rayon de courbure est donné par la relation $\frac{m}{e} v = H\rho$. Par conséquent il est possible, de deux expériences faites l'une avec un champ électrostatique et l'autre avec un champ magnétique, de déduire la vitesse v de la molécule, ainsi que le rapport $\frac{m}{v}$.

A cause de l'hétérogénéité du faisceau émis par le radium on ne peut affirmer que les mesures faites dans les deux expériences se rapportent à la même radiation, et par conséquent à la même valeur de v. Toutefois comme dans l'expérience avec le champ électrique le papier noir élimine par absorption les radiations les plus déviables, il a été possible à M. Becquerel de faire un premier choix parmi les valeurs de ρ qu'il a obtenues dans ses expériences avec le champ magnétique. Il a trouvé ainsi $v = 1{,}6 \times 10^{10}$ et $\frac{m}{e} = 10^{-7}$, nombres qui sont tout à fait de l'ordre de grandeur de ceux qui ont été trouvés pour les rayons cathodiques.

En combinant ces valeurs avec la valeur de la charge déterminée par M. et Mme Curie (1), on trouve que l'énergie rayonnée par un centimètre carré serait 5,1 ergs par seconde, et que cette perte d'énergie correspondrait à un déplacement de matière d'environ un milligramme en un milliard d'années. On conçoit donc que l'énergie rayonnée par les substances radio-actives puisse être empruntée à la matière elle-même, sans que l'on puisse constater une diminution appréciable du poids de celle-ci.

(1) *Écl. Élect.*, t. XXII, p. 400, 10 mars 1900.

---

variation du potentiel entre les deux plateaux, sous l'influence du radium. Un électromètre à cadran de Henley, en relation avec la batterie, avait été gradué par l'observation de diverses distances explosives, de façon à donner approximativement le potentiel de la batterie. Pendant l'expérience, ce potentiel était maintenu constant en rechargeant constamment la batterie avec une machine à influence, et en faisant en sorte que la déviation de l'électromètre se maintint constante. Une disposition convenable permettait, au cours d'une expérience, de renverser le sens du champ électrique entre les plateaux en lui conservant la même intensité.

La plaque photographique, enveloppée de papier noir, était fixée en dehors du champ, à 1,2 cm au-dessus de l'arête supérieure des plateaux ; la matière radio-active était placée dans une petite cuve de plomb au-dessous d'une lame de plomb dans laquelle était pratiquée une fente de 0,15 cm environ de large ; dans une autre série, le sel de radium était rassemblé dans une rainure rectiligne de 1 mm de large, pratiquée dans un petit bloc de plomb ; le tout était orienté de manière que la partie moyenne du faisceau coïncidât à peu près avec un plan parallèle aux plateaux et à égale distance de ceux-ci.

Le faisceau large et diffus ainsi obtenu est dévié par le champ électrostatique ; mais la déviation, qui correspond sur la plaque à un déplacement de quelques millimètres, est difficile à mesurer. On a alors disposé exactement au-dessus du milieu de la fente un écran plan très mince, en mica recouvert d'étain et bien isolé. Cet écran, qui dépassait les limites du champ et s'approchait près de la plaque photographique à laquelle il était normal, donnait sur celle-ci une ombre rectiligne très étroite, si le faisceau des radiations actives était exactement parallèle à son plan, ce qui est sensiblement réalisé lorsque les deux plateaux sont au même potentiel. Au contraire, si le faisceau est dévié dans un sens, une partie de ce faisceau sera arrêtée par l'écran, et celui-ci projettera sur la plaque une ombre dont la direction indiquera le sens de la déviation et dont la limite correspondra à la déviation des radiations les moins déviées par le champ électrique, et donnant encore une impression notable au travers du papier noir. Cette limite est diffuse en raison de la pénombre due à la largeur de la source, et surtout en raison de la dispersion du rayonnement par le champ électrique. Si l'on renverse le sens du champ, l'ombre est projetée en sens contraire.

Dans cette expérience une disposition particulière permettant de couvrir, par un écran opaque, successivement, chacune des parties de la plaque photographique perpendiculairement à la déviation, de façon à obtenir sur la même épreuve les deux phénomènes inverses. On constate alors l'existence de deux bandes blanches décalées l'une par rapport à l'autre, montrant la dispersion dans deux sens opposés, à partir d'une origine commune.

On a obtenu diverses épreuves pour des champs électriques qui ont varié entre $1{,}02 \times 10^{12}$ et $1{,}29 \cdot 10^{12}$ unités C. G. S. La déviation ramenée à une intensité commune du champ électrique d'environ $1{,}02 \times 10^{12}$ unités C. G. S. (10200 volts entre les deux plateaux), peut être évaluée à 0,4 cm environ.

Le Gérant : C. NAUD.

Tome XXIII. Samedi 14 Avril 1900. 7e Année. — N° 15

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

SUR L'INDUCTION UNIPOLAIRE

1. M. le colonel de Nicolaïeve a dernièrement communiqué à l'Académie des Sciences [1] diverses expériences curieuses sur la rotation continue d'un aimant soumis à l'action de divers systèmes de courants.

Le caractère paradoxal de ces expériences et d'autres analogues avait frappé plusieurs personnes qui avaient été jusqu'à se demander si le principe de l'égalité de l'action et de la réaction restait applicable dans toutes les circonstances.

D'autre part la question de l'induction unipolaire a donné lieu dans ces derniers mois à de nombreuses discussions et ici même [2] M. Raveau a exprimé à ce sujet des idées fort justes dans un article qui a été très remarqué.

Cependant toutes ces expériences sont susceptibles d'une explication des plus simples et elles ne présentent rien de mystérieux. Il suffit pour s'en rendre compte d'en revenir aux principes fondamentaux de l'électrodynamique.

Dans toutes ces expériences, l'appareil se compose :

1° D'un aimant présentant la forme d'un solide de révolution ; cet aimant peut être fixe ou tourner autour de son axe ; dans tous les cas le champ magnétique dû à cet aimant est invariable ; car à cause de la forme symétrique de l'aimant, la rotation de l'aimant ne peut rien changer à ce champ.

2° D'un circuit voltaïque dont une partie est fixe, et l'autre susceptible de tourner autour de l'axe de l'aimant.

(1) *Comptes rendus*, 24 juillet et 18 septembre 1899, *L'Éclairage Électrique*, t. XX, p. 348 et t. XXI, p. 66.

(2) *L'Éclairage Électrique*, du 3 février 1900, t. XXII, p. 161.

Le courant passe de la partie fixe du circuit à la partie mobile par un contact mobile; mais deux cas sont à distinguer.

Si le contact se trouve sur l'axe de révolution du système, c'est toujours le *même* point du circuit fixe qui se trouve en contact avec le *même* point du circuit mobile; nous avons alors un *contact sans glissement*. Si au contraire le contact ne se trouve pas sur l'axe de révolution, un point du circuit fixe vient successivement en contact avec différents points du circuit mobile ou inversement, nous aurons ce que j'appellerai un *contact glissant*, soit que le glissement se fasse entre conducteurs solides, soit qu'une pointe métallique plonge dans un godet de mercure.

Nous ne tarderons pas à voir l'importance de cette distinction.

Considérons un système électrodynamique quelconque soumis à l'action d'un champ magnétique extérieur; envisageons un circuit voltaïque faisant partie de ce système; multiplions l'intensité du courant qui parcourt ce circuit par le flux d'induction magnétique dû au champ extérieur qui traverse le circuit; je désigne par T la somme des produits ainsi obtenus pour tous les circuits du système.

Cette somme représentera l'énergie électrodynamique due à l'action mutuelle du système électrodynamique et du champ extérieur.

(Je rappellerai en passant, pour éviter toute confusion, que si on voulait calculer l'énergie électrodynamique due à l'action d'un système électrodynamique sur *lui-même*, il faudrait après avoir fait la somme des produits obtenus par la règle ci-dessus, diviser cette somme par deux.)

Les attractions électrodynamiques ont toujours pour effet d'augmenter T et pour un déplacement infiniment petit du système, le travail de ces attractions est précisément δT. Pour savoir si un système électrodynamique va se mettre en mouvement, il faut chercher si un déplacement compatible avec les liaisons peut avoir pour effet d'augmenter T.

Telle est la règle que l'on peut déduire des principes généraux de l'électrodynamique; mais pour appliquer cette règle correctement, il faut bien en comprendre le sens.

Prenons d'abord un exemple un peu grossier.

Supposons un système formé de deux circuits. Dans une première position, le premier circuit est fermé et parcouru par un courant d'intensité i, le second circuit est ouvert et n'est parcouru par aucun courant; de plus les flux d'induction qui traversent les deux circuits sont respectivement A et B. Dans ces conditions on a:

$$T = iA.$$

Le système passe dans une seconde position où les deux flux deviennent respectivement $A + \delta A$ et $B + \delta B$. Par conséquent l'énergie électrodynamique devient:

$$T + \delta T = i(A + \delta A).$$

Mais je suppose qu'en même temps un commutateur entre en jeu, ouvre le premier circuit où l'intensité devient nulle et ferme le second circuit où l'intensité devient j. L'énergie électrodynamique devient alors:

$$j(B + \delta B).$$

De sorte que cette énergie a subi deux accroissements différents; le premier

$$\delta T = i\delta A$$

dû directement au déplacement des circuits, et le second

$$\delta' T = j(B + \delta B) - i(A + \delta A),$$

dû à la mise en jeu du commutateur.

Il est bien clair dans ce cas que le travail des forces électrodynamiques sera égal à δT et non à $\delta T + \delta' T$ et qu'on n'a pas à se préoccuper dans le calcul de ces forces des variations que l'énergie T peut subir par suite du jeu du commutateur.

Supposons maintenant un système comprenant deux de ces contacts glissants dont je parlais tout à l'heure. A un moment donné, le courant suit à l'intérieur de la partie fixe du système le chemin ABC et dans la partie mobile le chemin DEF, C étant en contact avec D et F avec A. Dans un instant ultérieur, D et F cessent d'être en contact avec C et A par suite du mouvement de l'appareil et viennent respectivement en contact avec deux points C′ et A′ appartenant à la partie fixe du système. Par conséquent le courant suivra toujours dans la partie mobile le chemin DEF, mais dans la partie fixe il suivra un chemin nouveau A′B′C′.

Soit AMC une ligne quelconque joignant les points A et C, nous regarderons cette ligne comme fixe et comme appartenant à la partie fixe du système.

Soit FND une ligne invariablement liée à la partie mobile du système et coïncidant avec AMC dans la première position de l'appareil. Soit enfin A′M′C′ la ligne fixe qui coïncide avec FND dans la seconde position de l'appareil.

Soient APA′ CQC′ les arcs lieux des points de la partie fixe qui se trouvent successivement en contact avec F et avec D.

J'aurai à envisager les circuits ABCMA, A′B′C′M′A′, CMAPA′M′C′QC, appartenant à la partie fixe et le circuit DEFND appartenant à la partie mobile. Soient φ_1, φ_2, φ_3, φ_4 les flux d'induction magnétique qui traversent ces quatre circuits, dans la première position et $\varphi_1 + \delta\varphi_1$, $\varphi_2 + \delta\varphi_2$, $\varphi_3 + \delta\varphi_3$, $\varphi_4 + \delta\varphi_4$, les flux qui les traversent dans la deuxième position.

Soit i l'intensité du courant, que dans ce genre de calcul il convient de considérer comme constante.

Dans la première position, on aura :

$$T = i(\varphi_1 + \varphi_4),$$

et dans la deuxième

$$T = i(\varphi_2 + \delta\varphi_2 + \varphi_4 + \delta\varphi_4).$$

Cela veut-il dire que le travail des forces électrodynamiques soit égal à la différence

$$\Delta T = i(\varphi_2 + \delta\varphi_2 - \varphi_1 + \delta\varphi_4)\ ?$$

Evidemment non. Si la communication métallique n'avait pas été rompue entre A et F et entre C et D, et si elle n'avait pas été établie entre A′ et F et entre C′ et D, le courant au lieu de suivre (dans la deuxième position) le chemin A′B′C′DEF, aurait suivi le chemin ABCQC′DEA′PA (comme si deux fils métalliques fictifs CQC′ et A′PA avaient maintenu la communication entre A et F d'une part, entre C et D d'autre part) et l'on aurait eu

$$T = i(\varphi_1 + \delta\varphi_1 + \varphi_3 + \varphi_4 + \delta\varphi_4),$$

de sorte que l'énergie aurait subi un accroissement

$$\delta T = i(\delta\varphi_1 + \delta\varphi_4 + \varphi_3 + \delta\varphi_3).$$

Le contact glissant en ouvrant de nouvelles communications métalliques et en fermant

d'autres a joué le rôle d'un commutateur; le travail des forces électrodynamiques est égal à δT et non à ΔT et nous n'avons pas plus à tenir compte de la différence $\Delta T - \delta T$ que nous ne tenions compte tout à l'heure de la variation d'énergie due au jeu du commutateur.

Ainsi la condition pour qu'il se produise un mouvement, c'est que δT soit positif; peu importe que ΔT soit nul.

S'il n'y avait que des contacts sans glissement, il n'y aurait ni rupture, ni ouverture de communications métalliques et l'on aurait $\delta T = \Delta T$. On entrevoit déjà l'importance du rôle des contacts glissants.

Dans le cas qui nous occupe, le champ est invariable, de sorte que $\delta\varphi_1 = \delta\varphi_2 = 0$, puisque les deux premiers circuits sont fixes; de plus le champ est de révolution et le quatrième circuit est animé d'un mouvement de rotation autour de l'axe. On a donc :

$$\delta\varphi_4 = 0.$$

Dans la première position, le troisième circuit s'évanouit parce que les points A et A', C et C' se confondent. Donc

$$\varphi_3 = 0.$$

Nous pouvons admettre enfin à cause de la symétrie de l'appareil qu'on peut passer de la ligne ABC à la ligne A'B'C' par une simple rotation de sorte que

$$\varphi_2 = \varphi_1.$$

(En tout cas on retrouverait cette égalité après une révolution complète.)

On voit alors que

$$\Delta T = 0, \quad \delta T = i\delta\varphi_3 .$$

On en conclut tout de suite que s'il n'y a pas de contact glissant, il ne saurait y avoir de mouvement.

Cherchons maintenant le travail des forces électrodynamiques pendant une révolution complète, ce sera :

$$\int \delta T = i \int \delta\varphi_3 .$$

Pendant cette révolution la ligne AMC engendrera une certaine surface de révolution et $\int \delta\varphi_3$ est le flux d'induction qui traverse cette surface.

Cette surface de révolution forme la surface latérale d'une sorte de cylindre dont les deux bases sont les deux cercles limités par les circonférences décrites par les deux contacts glissants D et F. Comme le flux d'induction qui traverse une surface fermée quelconque est nul, le flux d'induction $\int \delta\varphi_3$ qui traverse la surface latérale doit être égal au signe près à la somme algébrique des flux d'induction qui traversent ces deux cercles de base.

D'où la règle suivante :

En multipliant l'intensité du courant par la somme algébrique des flux d'induction qui traversent les circonférences décrites par les différents contacts glissants dans leur rotation, on aura une quantité proportionnelle au travail des forces électromagnétiques dans une révolution complète et par conséquent au couple moteur.

Le seul énoncé de cette règle montre pourquoi il ne peut pas y avoir de rotation sans contact glissant.

2. Soit H la partie fixe de notre système; M la partie mobile du circuit, K l'aimant. D'après ce que nous venons de voir, M se mettra à tourner. Si M est rendu solidaire de l'aimant K, il l'entraînera dans sa rotation. Mais si K est indépendant de M, il ne tournera pas, car H et M font agir sur lui deux couples égaux et de sens contraire.

Si H, M et K pouvaient tous trois tourner autour de l'axe du système et si ces trois pièces étaient indépendantes, K ne bougerait pas, H et M tourneraient l'un dans un sens, l'autre dans l'autre.

Si H et M étaient rendues solidaires, la rotation s'arrêterait; il n'y aurait plus alors de contact glissant, car les deux pièces H et M ne pourraient plus glisser l'une sur l'autre.

Si H et M redevenant indépendantes, on rendait K solidaire soit de H, soit de M, l'aimant K serait entraîné soit dans la rotation de H, soit dans celle de M et tournerait par conséquent soit dans un sens, soit dans l'autre.

Tous ces faits n'ont rien de mystérieux et sont conformes au principe de l'égalité de l'action et de la réaction.

On voit que la rotation de l'aimant n'est qu'un fait pour ainsi dire secondaire; l'aimant tourne s'il est entraîné par une pièce tournante, comme le serait n'importe quel corps inerte rendu solidaire d'une pièce tournante.

Il est vrai que dans beaucoup de ces expériences, dans celle d'Ampère, par exemple, l'aimant est lui-même traversé par le courant; il est alors soumis directement à un couple, mais s'il tourne, ce n'est pas en tant qu'aimant, c'est en tant que conducteur.

3. On peut se demander maintenant si, quand on fera tourner les diverses parties de l'appareil les unes par rapport aux autres, il se développera des forces électromotrices d'induction.

Si le flux d'induction qui traverse un circuit quelconque augmente de $\delta\varphi$ dans le temps δt il en résulte dans ce circuit une force électromotrice égale à $\frac{\delta\varphi}{\delta t}$, que la variation du flux soit due à la variation du champ, ou au déplacement du circuit. Mais, si par suite de l'intervention d'un commutateur ou d'un contact glissant, le courant après avoir parcouru un certain circuit, vient à parcourir un circuit différent et si les flux qui traversent ces deux circuits ne sont pas les mêmes, il ne se produit pas une force électromotrice d'induction égale à l'accroissement du flux.

Reprenons nos notations et supposons que H soit de nouveau fixe, M et K susceptibles de tourner.

Le courant parcourt d'abord le circuit ABCDEFA qui est traversé par le flux $\varphi_1 + \varphi_4$. La partie mobile se déplace; si les communications métalliques n'étaient pas altérées par le jeu du contact glissant, le courant parcourrait le circuit ABCQC′DEFA′PA qui est traversé par le flux

$$(\varphi_1 + \delta\varphi_1) + (\varphi_3 + \delta\varphi_3) + (\varphi_4 + \delta\varphi_4) = \varphi_1 + \delta\varphi_3 + \varphi_4.$$

Mais à cause du contact glissant, il parcourt le circuit A′B′C′DEFA′ qui est traversé par le flux

$$(\varphi_2 + \delta\varphi_2) + (\varphi_4 + \delta\varphi_4) = \varphi_2 + \varphi_4.$$

Or nous devons calculer la force électromotrice d'induction comme si le contact glissant n'avait pas agi. Cette force sera donc proportionnelle à

$$(\varphi_1 + \delta\varphi_3 + \varphi_4) - (\varphi_1 + \varphi_4) = \delta\varphi_3$$

et non à

$$(\varphi_2 + \varphi_4) - (\varphi_1 + \varphi_4) = \varphi_2 - \varphi_1 = 0.$$

Cette force sera donc proportionnelle à ce que nous appelions tout à l'heure $\int \delta \varphi_2$, ou ce qui revient au même :

La force électromotrice d'induction est proportionnelle à la somme algébrique des flux d'induction magnétique qui traversent les circonférences décrites par les contacts glissants dans leur rotation.

On remarquera que cette force est développée par la rotation de la partie M et qu'elle reste la même, soit que l'aimant demeure immobile, soit qu'il soit entraîné dans la rotation de M. La rotation de l'aimant ne fait rien à l'affaire ; celle du conducteur seule importe.

4. Dans ces conditions que doit-on penser de cette question ? les lignes de force sont-elles entraînées dans la rotation de l'aimant ?

Elle n'a par elle-même aucun sens puisque ces lignes de force ne sont qu'une création de notre esprit. Elle ne peut signifier qu'une chose ; en appliquant la règle des lignes de force arrive-t-on à un résultat exact en les supposant fixes et à un résultat inexact en les supposant mobiles, ou bien est-ce le contraire ?

Or nous allons voir que, en ce qui concerne les courants fermés, le résultat est le même, qu'on suppose ces lignes fixes ou mobiles ; ce résultat est d'ailleurs exact.

Supposons que nous fassions tourner l'aimant K en même temps que la partie M du système, la partie H restant fixe. Si les lignes de force sont fixes, la partie H du circuit n'en coupera aucune, mais la partie M en coupera un certain nombre.

Si au contraire les lignes de force sont entraînées dans la rotation de K et de M, la partie M tournant avec les lignes de force, n'en coupera aucune ; mais la partie H en coupera.

Dans les deux cas, le nombre total des lignes de force coupées par le circuit total H + M sera le même.

En effet, pour calculer le nombre de lignes de force coupées dans un petit mouvement quelconque, nous pouvons décomposer ce mouvement en deux parties ; nous pouvons faire tourner M en laissant K immobile ; et ensuite faire tourner K en laissant M immobile.

Dans la première partie, les lignes de force doivent être regardées comme fixes dans les deux hypothèses, puisque l'aimant est fixe. Nous n'avons donc à nous occuper que de la seconde partie du mouvement.

Dans cette seconde partie, si nous supposons les lignes de force fixes, comme le circuit H + M reste fixe, il ne coupe aucune ligne de force. Supposons maintenant les lignes de force entraînées par l'aimant, je dis que le nombre total des lignes de force coupées par le circuit fermé sera nul. En effet, le champ étant de révolution, le flux d'induction qui traverse le circuit H + M sera constant. Or la variation de ce flux est égale au nombre de lignes de force coupées par le circuit ; ce nombre est donc nul.

Entendons-nous bien cependant. Je n'ai employé le mot de lignes de force que pour me conformer à l'usage, j'aurais dû dire *lignes d'induction magnétique*. La force magnétique est identique à l'induction magnétique à l'extérieur des aimants, et c'est à l'extérieur des aimants qu'on a le plus souvent à l'envisager, de sorte qu'aucune confusion n'est à craindre. Mais à l'intérieur des aimants, il est nécessaire de faire cette distinction.

Précisons donc ; la force électromotrice d'induction cherchée dépend du nombre des lignes d'induction magnétique coupées et non du nombre des lignes de force. C'est donc le nombre de ces lignes d'induction qu'il convient de considérer. Le nombre des lignes d'induction coupées est égal à la variation du flux magnétique qui traverse le circuit ; on le démontrerait à l'aide de la relation :

$$\frac{da}{dx} + \frac{db}{dy} + \frac{dc}{dz} = 0$$

C'est ce nombre des lignes d'induction coupées par le circuit total qui reste le même, que ces lignes soient supposées fixes, ou qu'on les suppose entraînées par la rotation de l'aimant.

Or la seule chose que l'expérience puisse atteindre dans le cas des courants fermés, c'est la force électromotrice totale développée dans le circuit, c'est-à-dire le nombre total des lignes coupées par le circuit fermé.

On n'a donc aucun moyen de décider entre les deux hypothèses.

D'autre part l'observation des rotations magnétiques ne peut non plus rien nous apprendre, puisque la force électrodynamique qui agit sur un élément de courant est proportionnelle au parallélogramme construit sur cet élément et sur la force magnétique, sans qu'on ait à s'inquiéter de savoir si le champ est constant ou variable et par conséquent si la ligne de force magnétique est en repos ou en mouvement.

5. Il semble que la considération des circuits ouverts doit permettre de résoudre la question que les expériences sur les circuits fermés laissent indécise.

A défaut d'expériences à ce sujet, voyons ce que les principales théories proposées, celles de Hertz et de Lorentz, peuvent nous faire prévoir.

Imaginons un système comprenant : 1° un aimant, 2° divers conducteurs, 3° divers diélectriques. L'aimant est de révolution comme nous l'avons toujours supposé jusqu'ici et les diverses parties du système sont les unes fixes, les autres susceptibles de tourner autour de l'axe du système.

D'après la théorie de Hertz, si l'on appelle X, Y, Z, les composantes de la force électrique, l'intégrale

$$\int (X dx + Y dy + Z dz) ,$$

prise le long d'un contour fermé C, est égale à la dérivée du flux d'induction magnétique qui traverse ce contour. Dans le calcul de cette dérivée, il faut supposer que le contour est entraîné par le mouvement de la matière.

Si alors le contour fermé C est contenu tout entier dans une partie fixe du système, la variation du flux est nulle ; car le champ, étant de révolution, demeure invariable que l'aimant tourne ou ne tourne pas. Notre intégrale est donc nulle.

Si le contour fermé C est contenu tout entier dans une partie tournante du système, cette variation sera encore nulle ; car le champ est invariable et de révolution et le contour n'a d'autre déplacement qu'une rotation autour de l'axe de révolution. Notre intégrale est donc encore nulle.

L'expression

$$X dx + Y dy + Z dz$$

est donc une différentielle exacte tant à l'intérieur des parties fixes qu'à l'intérieur des parties tournantes.

On aura donc soit dans les parties fixes, soit dans les parties tournantes :

$$X = \frac{dV}{dx}, \quad Y = \frac{dV}{dy}, \quad Z = \frac{dV}{dz},$$

V étant un potentiel.

Seulement la fonction V pourra subir une discontinuité quand on passera d'une partie fixe à une partie tournante ou inversement.

Soient P et P' deux parties du système en contact l'une avec l'autre et tournant respecti-

vement avec des vitesses angulaires ω et ω' ; je supposerai que la surface de séparation est une surface de révolution.

Soit ABCDA un contour fermé passant de l'une à l'autre et traversant la surface de séparation aux points A et C ; la partie ABC du contour est dans P, la partie CDA dans P'. Quand on traverse la surface de séparation en passant de P en P', la fonction V subit une variation brusque que j'appelle δV ; soit δV_1 la valeur de δV au point A et δV_2 la valeur de δV au point C. L'intégrale

$$\int (X dx + Y dy + Z dz)$$

prise le long du contour ABCDA sera évidemment :

$$\delta V_1 - \delta V_2 .$$

Quelle sera d'autre part la variation du flux d'induction ; la partie ABC du contour, tournant avec la vitesse ω viendra au bout du temps 1 en A'B'C' ; la partie CDA, tournant avec la vitesse ω' viendra en C''D''A'' ; de sorte que le contour ABCDA deviendra A'B'C'C''D''A''A', les deux parties du contour étant après leur déplacement raccordées par deux arcs de cercle C'C'' et A''A'.

Joignons les points C et A par une ligne quelconque CQA appartenant à la surface de séparation ; joignons de même C' et A', C'' et A'' par des lignes C'Q'A', C''Q''A'' qui s'obtiennent en faisant tourner CQA d'un angle ω ou d'un angle ω'. Nous aurons évidemment en désignant par la notation (flux ABCDA) le flux d'induction magnétique qui traverse le circuit ABCDA :

$$\text{flux ABCDA} = \text{flux ABCQA} + \text{flux CDAQC}$$
$$\text{flux A'B'C'C''D''A''A'} = \text{flux A'B'C'Q'A'} + \text{flux C''D''A''Q''C''} + \text{flux C'C''Q''A''A'Q'C'}$$
$$\text{flux ABCQA} = \text{flux A'B'C'Q'A'}$$
$$\text{flux CDAQC} = \text{flux C''D''A''Q''C''}$$

d'où :

$$\text{flux A'B'C'C''D''A''A'} - \text{flux ABCDA} = \text{flux C'C''Q''A''A'Q'C'}$$

d'où enfin :

$$\delta V_1 - \delta V_2 = \text{flux C'C''Q''A''A'Q'C'}$$

Mais le second membre de cette dernière égalité est égal à $\frac{\omega' - \omega}{2\pi} \times \Phi$, Φ étant le flux qui traverse la portion de la surface de séparation (laquelle est de révolution, comme nous le savons) comprise entre le parallèle décrit par le point C et le parallèle décrit par le point A.

Ce flux Φ lui-même est égal à la différence des flux Φ_1 et Φ_2 qui traversent les deux cercles limités respectivement par le parallèle du point A et par le parallèle du point C. On a donc :

$$\delta_1 V - \delta V_2 = \frac{\omega' - \omega}{2\pi} (\Phi_1 - \Phi_2)$$

Si nous observons que V n'est déterminé qu'à une constante près et que nous avons le droit d'attribuer à cette constante deux valeurs différentes dans P et dans P', nous voyons que nous pouvons nous donner arbitrairement la valeur de δV en un point de la surface de séparation. Nous avons donc le droit de prendre :

$$\delta V_1 = \frac{\omega' - \omega}{2\pi} \Phi_1 ; \ \delta V_2 = \frac{\omega' - \omega}{2\pi} \Phi_2 . \qquad (1)$$

et nous aurions ainsi une règle très simple pour déterminer δV en un point quelconque de la surface de séparation de deux parties tournant avec des vitesses différentes.

Cela posé, il est facile de voir comment on devra calculer V ; ce potentiel se composera :

1° Du potentiel d'une double couche dont la densité sera $\frac{\delta V}{4\pi}$ et qui sera répandue sur les surfaces de séparation des diverses parties du système qui tourneront avec des vitesses de rotations différentes.

2° Du potentiel de simples couches répandues à la surface des conducteurs.

3° Du potentiel de simples couches répandues à la surface de séparation de deux diélectriques dont le pouvoir diélectrique est différent.

(Dans ce dernier cas, je parle de l'électrisation apparente de la surface des diélectriques par suite de la polarisation de ces diélectriques, ou en d'autres termes de ce que Hertz appelle l'électricité libre par opposition à l'électricité vraie).

La densité des doubles couches est donnée par ce qui précède ; voyons comment se détermine la densité des simples couches.

Nous supposerons qu'aucun conducteur ne se compose de deux parties contiguës tournant avec des vitesses différentes ; sans cela l'équilibre ne serait pas possible, le conducteur serait continuellement parcouru par un courant, nous retomberions en somme sur le cas des circuits fermés que nous avons traité plus haut.

Si aucun conducteur ne se compose de deux parties en rotation relative, l'intégrale

$$\int (X dx + Y dy + Z dz)$$

prise le long d'un contour intérieur à ce conducteur sera nulle ; il ne s'établira donc pas à l'intérieur du conducteur de courant continu et l'équilibre ne tardera pas à être atteint. La condition de cet équilibre, c'est qu'on ait à l'intérieur du conducteur :

$$X = Y = Z = 0, \quad V = \text{const.} \tag{2}$$

D'autre part à la surface de séparation de deux diélectriques dont les pouvoirs diélectriques sont respectivement ε et ε' on devra avoir

$$\varepsilon N = \varepsilon' N', \tag{3}$$

N et N′ désignant la composante normale de la force électrique de part et d'autre de la surface de séparation.

Les relations (2) et (3) sont celles que l'on rencontre dans tous les problèmes d'électrostatique ; elles permettront de déterminer la densité des simples couches, celle des doubles couches étant connue par la relation (1).

Donc les simples couches seront celles qui se développent *par influence* à la surface des conducteurs et des diélectriques, sous l'action des doubles couches, d'après les règles ordinaires de l'électrostatique.

Ces doubles couches étant connues par l'équation (1), le problème peut être regardé comme entièrement résolu et cette analyse nous permettra en particulier de calculer la charge électrique qui se portera aux différents points de la surface des condensateurs.

6. Après avoir examiné la théorie de Hertz, voyons ce que donne celle de Lorentz.

Dans la théorie de Lorentz, si l'on désigne par f, g, h, les composantes du déplacement électrique ; celles de la force électrique seront :

$$\frac{4\pi f}{K_0}, \frac{4\pi g}{K_0}, \frac{4\pi h}{K_0}$$

***

où K_0 est l'inverse du carré de la vitesse de la lumière. L'intégrale :

$$\int \frac{4\pi}{K_0}(f dx + g dy + h dz)$$

prise le long d'un contour fermé est encore égale à la variation du flux d'induction magnétique qui traverse ce contour, mais en supposant ce contour fixe et non pas entraîné dans le mouvement de la matière.

Il semble donc que nous allons être conduits à d'autres résultats que dans le numéro précédent.

Mais si nous posons,

$$X = \frac{4\pi f}{K_0} + \zeta b - \eta c$$

$$Y = \frac{4\pi g}{K_0} + \xi c - \zeta a$$

$$Z = \frac{4\pi h}{K_0} + \eta a - \xi b\ ,$$

en désignant par a, b, c les composantes de l'induction magnétique et par ξ, η, ζ celles de la vitesse de la lumière, on trouve que l'intégrale

$$\int (X dx + Y dy + Z dz$$

est égale à la variation du flux d'induction magnétique qui traverse le contour, le contour étant supposé entraîné dans le mouvement de la matière.

Donc cette intégrale aura même valeur que dans l'analyse de Hertz.

On aura donc tant à l'intérieur des parties fixes qu'à l'intérieur des parties tournantes

$$X = \frac{dV}{dx}, Y = \frac{dV}{dy}, Z = \frac{dV}{dz}\ ;$$

et quand on passera d'une partie fixe à une partie tournante ou inversement, la fonction V subira un saut brusque δV qui sera donné par la formule (1).

D'après la théorie de Lorentz la force qui tend à mettre en mouvement un électron dans un conducteur a des composantes proportionnelles à

$$\frac{4\pi f}{K_0} + \zeta\beta - \eta\gamma$$

$$\frac{4\pi f}{C_0} + \xi\gamma - \zeta\alpha$$

$$\frac{4\pi f}{K_0} + \eta\alpha - \xi\beta\ .$$

En dehors de l'aimant, la force magnétique α, β, γ se confond avec l'induction magnétique a, b, c, de sorte que la force qui agit sur l'électron a ses composantes proportionnelles à

$$X, Y, Z.$$

Pour l'équilibre on doit donc avoir à l'intérieur du conducteur

$$X = Y = Z = o,$$

d'où $V = \text{const.}$

Quant à la densité de l'électricité à la surface du conducteur, elle est proportionnelle à

la variation brusque que subit, en traversant cette surface, la composante normale du déplacement électrique f, g, h. D'autre part α, β, γ ne subissent pas de variations brusques et ξ, η, ζ n'en subissent pas non plus, si l'on suppose, pour plus de simplicité, que la surface du conducteur ne coïncide pas avec la surface de séparation de deux parties en rotation relative.

La densité de l'électricité est donc proportionnelle à la variation brusque éprouvée par la composante normale de la force X, Y, Z. Elle est donc, comme dans l'électrostatique ordinaire, proportionnelle à $\frac{dV}{dn}$ (dérivée du potentiel estimée suivant la normale à la surface du conducteur du côté extérieur au conducteur).

Nous retombons sur les mêmes conditions que dans la théorie de Hertz.

Enfin à la surface de séparation de deux diélectriques de pouvoir diélectrique différent, une analyse plus compliquée nous conduirait encore à la relation (3).

En résumé, pour tout ce qui est accessible à l'expérience, la théorie de Lorentz conduit aux mêmes résultats que celle de Hertz.

7. Particularisons un peu nos hypothèses pour fixer nos idées. La partie fixe du système se composera d'un condensateur dont les deux armatures seront deux plateaux annulaires métalliques; le centre de chacun de ces deux anneaux se trouvera sur l'axe de révolution du système (cet axe sera regardé comme vertical).

J'appellerai D la distance des deux plateaux, R et r le rayon extérieur et le rayon intérieur des anneaux.

Ces deux armatures seront réunies par un fil métallique.

Entre les deux plateaux métalliques, se trouvera un plateau annulaire d'ébonite susceptible de tourner autour de l'axe du système. J'appellerai e l'épaisseur de ce plateau et je supposerai que les rayons extérieur et intérieur de l'anneau sont encore R et r. La lame isolante du condensateur se compose ainsi d'une épaisseur d'ébonite e et d'une épaisseur d'air $D - e$.

L'aimant sera de révolution et pourra rester immobile ou tourner autour de l'axe du système. L'aimant sera un barreau cylindrique dont une extrémité, le pôle N par exemple, s'engagera à moitié dans le trou qui est au centre des trois plateaux annulaires de façon que cette extrémité vienne à peu près à la hauteur du plan horizontal médian du plateau d'ébonite.

Imprimons au plateau d'ébonite une vitesse ω.

Considérons une droite verticale traversant la lame isolante du condensateur, coupant en A l'armature supérieure, en B la base supérieure du plateau tournant d'ébonite, en C la base inférieure de ce plateau, en E l'armature inférieure du condensateur.

La fonction V a même valeur en A et en E puisque les deux armatures sont reliées par un fil métallique ; elle subit un saut brusque δV_1 en B et un autre saut brusque $-\delta V_2$ en C. Partout ailleurs on a :

$$\frac{dV}{dz} = Z,$$

on a donc

$$\int_A^E Z dz = \delta V_2 - \delta V_1. \tag{4}$$

Si j'appelle ρ la densité de l'électricité au point A à la surface du condensateur, on aura en ce point

$$4\pi\rho = Z.$$

D'autre part, si les lignes de force électrique peuvent être considérées comme se rédui-

sant à des droites verticales, et les tubes de force comme des cylindres, le flux d'induction électrique qui traverse les diverses sections droites de l'un de ces cylindres peut être regardé comme constant.

En un point quelconque de la droite AE, on aura donc dans l'air : $4\pi\rho = Z$, et dans l'ébonite : $4\pi\rho = \varepsilon Z$; ε étant le rapport du pouvoir diélectrique de l'ébonite à celui de l'air. L'équation (4) devient donc :

$$4\pi\rho\left(\frac{e}{\varepsilon} + D - e\right) = \delta V_2 - \delta V_1 .$$

Il est aisé de déduire de là la charge totale des armatures. Cette formule montre que la densité au point A est proportionnelle à $\delta V_2 - \delta V_1$, c'est-à-dire au flux d'induction magnétique qui traverse le cylindre de révolution dont le rayon est égal à la distance du point A à l'axe, ou plutôt la partie de ce cylindre qui est à l'intérieur du plateau d'ébonite.

On remarquera que ce flux d'induction magnétique diminuant rapidement quand le rayon du cylindre augmente, il n'y aura guère d'électricité que près du bord intérieur des anneaux.

8. Revenons alors à la question que nous nous étions posée ; les lignes de force tournent-elles ou ne tournent-elles pas avec l'aimant ?

Pour qu'on pût la résoudre, il faudrait que la règle des lignes de force appliquée dans une hypothèse donnât des résultats exacts et qu'elle en donnât d'inexacts dans l'hypothèse contraire.

Mais que veut-on dire quand on dit qu'on applique la règle des lignes de force à un circuit ouvert ? On sous-entend évidemment qu'on envisagera les lignes de force qui coupent la partie métallique du circuit, sans s'occuper de celles qui coupent la partie diélectrique, le diélectrique étant regardé comme inerte conformément aux idées des anciens électriciens.

Or il est clair, à ce compte, que la règle donnera des résultats inexacts dans l'une et l'autre hypothèse.

1° D'abord si l'on faisait tourner le plateau d'ébonite, en laissant l'aimant immobile, le condensateur se chargerait. Or d'après la règle des lignes de force, il ne devrait pas se charger, et cela dans aucune des deux hypothèses, puisque la partie métallique du circuit est fixe, et que l'aimant étant fixe, les lignes de force doivent dans les deux hypothèses être regardées comme fixes.

2° On pourrait presque dire que la charge prise par le condensateur ne dépend que de la rotation de l'ébonite et nullement de celle de l'aimant et qu'elle restera la même si l'aimant tourne et s'il ne tourne pas. Cela ne serait pas tout à fait vrai (car si l'aimant tourne, tout se passera comme si sa surface était recouverte d'une double couche fictive calculée comme je l'ai expliqué plus haut, et cette double couche chargera le condensateur par influence). Cela toutefois serait presque vrai (car la charge développée sur le condensateur par l'influence de la double couche fictive qui recouvre l'aimant serait, dans les conditions où nous nous sommes supposés placés, beaucoup plus petite que celle qui serait développée par l'influence de la double couche fictive qui recouvre l'ébonite) ; cela serait vrai en définitive dans la mesure où on a le droit de regarder les tubes de force électrique, entre les armatures du condensateur comme des cylindres à génératrices verticales.

3° Enfin la charge du condensateur dépend du pouvoir diélectrique des diverses parties du diélectrique et de leur vitesse de rotation. D'après la règle des lignes de force, quelle que soit l'hypothèse adoptée, elle n'en devrait pas dépendre.

Quelle sera donc notre conclusion ?

Un aimant en rotation entraîne-t-il avec lui ses lignes de force ?

Aussi bien dans le cas des circuits ouverts que dans le cas des circuits fermés, la question ne peut être résolue parce qu'elle n'a pas de sens.

H. Poincaré.

TRAMWAY ÉLECTRIQUE A CONTACTS SUPERFICIELS

(SYSTÈME PAUL)

Lorsque des raisons d'esthétique font proscrire l'emploi de la prise de courant aérienne pour une installation de tramways électriques, on doit faire un choix entre les systèmes à caniveau, à accumulateurs et à contacts superficiels.

L'application du système à caniveau entraîne des dépenses très élevées, qui ont, dans certains cas, dépassé 400 000 fr par kilomètre. On ne peut donc adopter cette solution que pour des lignes, sur lesquelles les recettes seront suffisantes pour assurer le service de l'intérêt et l'amortissement d'un capital considérable.

Les systèmes à accumulateurs ont donné lieu à des mécomptes et leur emploi est actuellement et paraît devoir demeurer restreint.

La solution la plus satisfaisante du problème posé sera donc, en général, l'adoption d'un système à contacts superficiels.

De nombreux systèmes de ce genre ont été proposés, mais un petit nombre ont été appliqués. L'un de ces derniers, le système Paul, a été appliqué par la Maison Schuckert (de Nuremberg) à l'une des lignes du réseau de tramways de Munich, où il fonctionne depuis plus d'un an et donne les meilleurs résultats.

Le courant est amené à des plots, installés au milieu de la voie et qui sont mis automatiquement sous tension au moment précis où ils sont couverts par la voiture et à ce moment-là seulement. La voiture porte une chaîne de Galle, suspendue à l'aide de ressorts, et permettant de capter le courant. La longueur de cette chaîne articulée dépend de la longueur des voitures employées et détermine l'écartement à donner aux plots. La distance de deux plots consécutifs doit être un peu inférieure à la longueur de l'appareil de prise de courant, afin que ce dernier puisse toucher simultanément ces deux plots. Dans les alignements droits la distance de deux plots consécutifs est de 4 mètres environ.

L'examen de la figure 1 permet de se rendre compte du principe de la distribution.

A chaque plot P correspond un appareil, dit « appareil directeur » et composé de deux électro-aimants A et B entre lesquels peut se déplacer une armature C, reliée au câble d'alimentation.

Supposons que la chaîne de prise de courant E soit en contact avec le plot P_2 actuellement électrisé et que le sens de marche soit celui de la flèche F.

Dès que la prise de courant atteindra le plot P_3, une dérivation du courant principal traversera les électro-aimants A_3 et B_2 et s'écoulera dans le sol en T_3. L'armature C_3, attirée par l'électro A_3, mettra le plot P_3 en relation avec le câble d'alimentation, tandis que le rappel de l'armature C_2 par l'électro B_2 aura pour effet d'isoler le plot P_2.

Sans entrer dans la description détaillée des appareils directeurs, il est essentiel de signaler qu'au moment où un courant passe dans un électro B, ce dernier, en même temps

qu'il attire l'armature C, attire aussi un levier, dont le jeu met en court circuit les deux pôles de l'électro A et prévient ainsi les effets du magnétisme rémanent, de telle sorte que le rappel de l'armature C est absolument assuré.

On voit donc comment une voiture peut passer d'un plot au suivant. Pour les démarrages on emploie une petite batterie d'accumulateurs placée sur la voiture. Le contrôleur relie un pôle de cette batterie à la terre et l'autre à la chaîne de prise de courant.

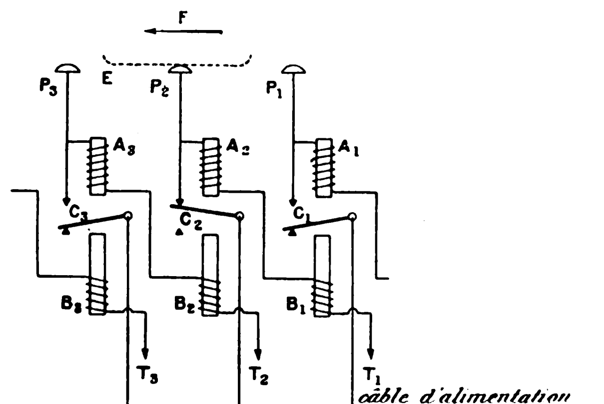


Fig. 1.

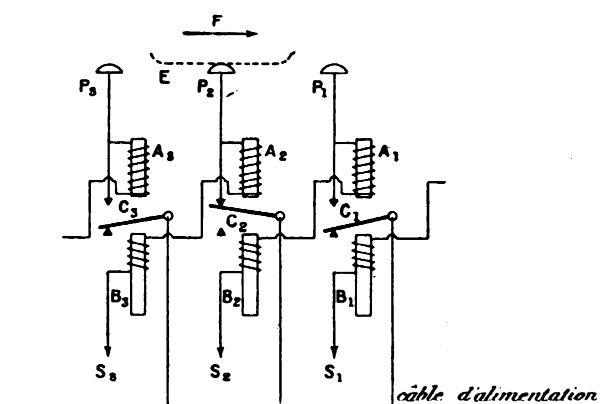


Fig. 2.

Si, après avoir parcouru les bobines d'un électro-aimant A, les courants dérivés parcouraient les bobines de l'électro-aimant B, situé à gauche de A, au lieu de parcourir celles de l'électro-aimant B situé à droite, c'est-à-dire si l'on réalisait le montage, représenté par la figure 2, on rendrait possible la marche de la voiture dans le sens opposé à celui que nous avons considéré ci-dessus.

En fait, on a, dans le système Paul, rendu possible la marche dans les deux sens, en

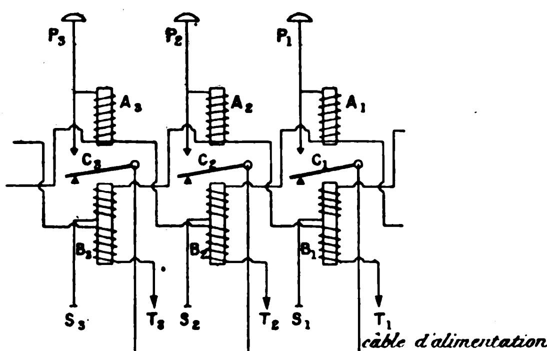


Fig. 3.

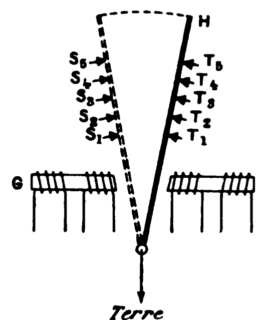


Fig. 4.

combinant les deux modes de montage, comme le montre la figure 3. Les bobines B sont, à cet effet, pourvues d'un double enroulement et, suivant que les voitures doivent circuler dans un sens ou dans l'autre, les points T sont mis à la terre et les points S isolés ou inversement.

Les appareils directeurs sont groupés au nombre de 30 à 36 dans des boîtes en fonte, installées soit sous la chaussée, soit sous les trottoirs. Il résulte de ce qui précède que l'espacement de deux boîtes consécutives est de 120 mètres environ. Ces boîtes sont parfaite-

ment étanches. Elles sont pourvues d'un double couvercle ; le premier affecte la forme d'un tampon de regard ordinaire, le second est disposé comme une cloche à plongeur. Des orifices sont ménagés pour permettre l'écoulement des eaux qui auraient pénétré accidentellement entre les deux couvercles.

A chaque groupe d'appareils directeurs « centre de distribution » correspond un interrupteur automatique, dont le rôle sera indiqué plus loin, et un commutateur, dont la position règle le sens de marche de la voiture. Ces deux appareils sont installés dans une petite armoire métallique facilement accessible et placée soit sur la façade d'une maison riveraine, soit en tout autre endroit convenable.

Le commutateur dont il s'agit est combiné de la manière suivante :

Toutes les extrémités T (fig. 1 et 3) et toutes les extrémités S (fig. 2 et 3) des dérivations correspondant aux appareils directeurs d'un même centre de distribution, constituent deux rangées de plots $T_1 T_2 T_3$..... $S_1 S_2 S_3$..... (fig. 4).

Un levier, en communication avec la terre, peut réunir électriquement et mettre simultanément à la terre tous les plots T pendant que les plots S demeurent isolés ou — inversement — mettre à la terre tous les plots S pendant que les plots T demeurent isolés.

Ce levier est commandé automatiquement par des électro-aimants, quel que soit, d'ailleurs, le sens de marche des voitures.

Supposons, par exemple, que le sens de marche soit tel que les plots T doivent être mis à la terre et les plots S isolés. Lorsque la chaîne de prise de courant vient au contact du dernier des plots, reliés à un centre de distribution, le courant dérivé, qui parcourt alors les appareils directeurs correspondants, traverse, avant de s'écouler dans le sol, la bobine de l'électro-aimant F et attire le levier H. Si, au contraire, le sens de la marche est tel que les plots S doivent être mis à la terre et les plots T isolés, c'est l'électro-aimant G qui fonctionne au moment où la voiture va s'engager dans la section, à laquelle correspond le commutateur considéré.

En résumé, lorsqu'un sens de marche a été adopté, les commutateurs des centres de distribution fonctionnent automatiquement et établissent les connexions convenables.

Toutefois, un accident, un faux aiguillage etc... peuvent nécessiter le renversement du sens normal de marche. Des commutateurs à main, facilement accessibles et convenablement répartis le long de la ligne, permettent de manœuvrer les commutateurs de groupe en envoyant des courants dans les électros F et G, dont chacun est, à cet effet, pourvu d'un second enroulement (en plus de l'enroulement qui assure le fonctionnement automatique ci-dessus décrit).

Dans tous les systèmes de distribution par contacts superficiels, il importe que les plots soient électrisés au moment précis où ils sont couverts par la voiture et à ce moment là seulement. Le système Paul présente, à cet égard, toutes les garanties de sécurité désirables. Il comporte, en effet, un dispositif empêchant, d'une manière absolue, que trois plots consécutifs puissent être mis simultanément sous tension. On a vu plus haut que la voiture couvrait constamment au moins deux plots consécutifs.

A chaque appareil directeur correspondent trois ressorts, que nous désignerons par les lettres P, Q, R, et l'armature de l'appareil directeur porte un prolongement, qui peut venir buter contre ces ressorts et les mettre tous trois en contact. Ce contact des trois ressorts est réalisé au moment où ladite armature, attirée par l'électro A de la figure 1, provoque l'électrisation du plot correspondant.

Le ressort P d'un appareil directeur (l'appareil de rang n par exemple) est relié au ressort R du deuxième des appareils précédents (l'appareil de rang $n-2$). Le ressort R est

relié au ressort P du deuxième des appareils suivants (l'appareil de rang $n+2$). Enfin, les ressorts Q de deux appareils consécutifs sont reliés alternativement au câble d'alimentation et à la terre. Les connexions peuvent, par exemple, être établies comme suit :

Q_{n-2} à la terre ;	Q_n au câble d'alimentation ;	Q_{n+2} à la terre ;
Q_{n-1} id	Q_{n+1} id.	Q_{n+3} id.

Si, pour une cause quelconque, trois plots consécutifs sont simultanément sous tension, on voit que dans chacun des trois groupes de ressorts P, Q, R correspondant à ces trois plots, les trois ressorts sont en contact. Par suite, le câble d'alimentation est mis en relation avec la terre. Le courant, qui s'établit ainsi, fait fonctionner l'interrupteur automatique dont il s'est agi ci-dessus et le fonctionnement de cet appareil a pour effet de supprimer le courant dans le centre de distribution intéressé.

Enfin, cet interrupteur est pourvu d'un verrou magnétique, combiné de telle sorte que l'interrupteur ne puisse être enclenché à nouveau que si tous les appareils directeurs, *sans exception*, du centre de distribution, qu'il protège, sont dans leur position de repos.

Le système Paul paraît supérieur, à divers points de vue, aux systèmes de distribution par contacts superficiels actuellement en usage.

L'établissement des voies peut être exécuté très aisément. Les plots sont encastrés dans des blocs de granit, maintenus, au moyen de béton, dans des boîtes en tôle. Ces boîtes sont fixées sur des traverses en fer solidement boulonnées aux rails. Les plots forment donc avec la voie ferrée un ensemble, parfaitement rigide et qui n'a, d'ailleurs, qu'une faible hauteur. Cette disposition est évidemment très favorable, car elle a pour effet de réduire l'importance et la durée des travaux de terrassement, d'installation des voies et de réfection des chaussées. On peut, en usine, assembler la traverse, le plot, le câble d'amenée du courant et les coussinets des rails et transporter sur le chantier cet ensemble tout monté.

Le système Paul partage avec les différents systèmes, qui comportent l'installation d'un appareil distributeur distinct pour chaque plot, l'avantage d'assurer la complète indépendance des voitures. Au contraire, dans les systèmes où un même appareil distribue le courant à un certain nombre de plots, une seule voiture peut s'engager dans la section correspondante. Un pareil inconvénient est évidemment de nature à compromettre gravement la bonne exécution du service sur des lignes à grand trafic, empruntant des voies publiques fréquentées où l'espacement des voitures consécutives ne saurait être maintenu invariable. En outre, un appareil, qui doit amener successivement le courant à plusieurs plots, est évidemment — en raison même de sa fonction — beaucoup plus compliqué, et, par suite, plus délicat qu'un appareil dont le rôle est de mettre sous tension, en temps utile, un plot et un seul.

S'il est avantageux d'avoir un organe distributeur pour chaque plot il paraît non moins avantageux de pouvoir installer cet organe à une certaine distance du plot correspondant et grouper — ainsi qu'il a été dit plus haut — ces organes dans des boîtes facilement accessibles pouvant être visitées aisément à tout instant de l'exploitation et notamment pendant la marche des voitures. On ne jouit pas des mêmes facilités, lorsque les organes distributeurs doivent, de toute nécessité, être installés dans les plots correspondants, sans compter qu'il paraît difficile d'assurer la conservation et l'isolement d'organes délicats placés sous des chaussées.

Certains systèmes à contacts superficiels comportent bien l'installation d'un appareil distributeur distinct pour chaque plot et facilement accessible, mais nécessitent l'établis-

sement d'une double rangée de plots (les contacts distributeurs et les contacts commutateurs) et l'aménagement sous la voiture de deux appareils de prise de courant. Le système Paul est également affranchi de ces inconvénients.

Enfin, il présente, au point de vue de la sécurité des personnes et des animaux circulant sur la voie publique, les plus sérieuses garanties et il semble que ce n'est pas le moindre de ses mérites.

L'armature mobile des appareils directeurs ne revient pas à la position de repos par l'action de la pesanteur ou d'un ressort antagoniste : elle est rappelée magnétiquement et on a vu que les mesures utiles sont prises pour assurer parfaitement ce rappel. Le maintien sous tension d'un plot, non couvert par la voiture, est donc très improbable. Au surplus, si cet accident se produisait, le jeu de l'interrupteur automatique supprimerait le courant sur la section intéressée et le réenclenchement de cet interrupteur ne serait possible qu'après localisation et suppression du dérangement.

Or, en fait, la plupart des systèmes à contacts superficiels, actuellement en usage, ou bien ne comportent aucun dispositif de sécurité prévenant efficacement l'électrisation intempestive des plots, ou bien exigent des manœuvres délicates ou dangereuses. A ce dernier point de vue, nous citerons comme exemple l'opération qui consiste à déplacer avec la main l'organe mobile d'un distributeur, commandant plusieurs plots, en vue de mettre cet organe dans la position convenable pour amener le courant au plot sur lequel s'est arrêté la voiture.

P. Heina,
Ingénieur des Télégraphes.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

GÉNÉRATION ET DISTRIBUTION

Etude sur les turbines hydrauliques, par **Rateau**. *Revue de Mécanique*, t. VI, p. 17-69, 31 janvier 1900.

Le développement des transmissions d'énergie par l'électricité, en même temps quelle a donné un nouveau et important débouché à l'industrie des turbines hydrauliques, a amené les ingénieurs électriciens à se préocccuper des conditions de fonctionnement et surtout des conditions de régulation de ces moteurs. Dans une série d'articles fort intéressants publiés dans la *Revue de Mécanique* de 1898 et de 1899 sous le titre général « Les turbo-machines », M. Rateau, ingénieur des Mines et inventeur d'un modèle tout récent de turbine à vapeur sur lequel on fonde les plus grandes espérances, a donné une théorie complète des machines de ce genre, aussi bien de celles qui, comme les ventilateurs et les pompes centrifuges, servent à aspirer et refouler un fluide que de celles qui, comme les turbines à vapeur ou hydrauliques utilisent la force vive ou l'élasticité d'un fluide pour donner du travail mécanique. Le dernier de ces articles, publié récemment, est entièrement consacré aux turbines hydrauliques ; en voici les principaux points :

1. Les turbines se divisent, comme on sait, en deux groupes : les turbines centrifuges et les turbines centripètes. Les premières, imaginées par Fourneyrou, sont aujourd'hui assez peu employées. Aussi l'auteur n'en décrit-il qu'un modèle, celui des usines de Niagara, construit par la Maison Fœsch et Piccard, de Genève. Ces turbines, de beaucoup les plus puissantes qui existent actuellement puisqu'elles peuvent développer 5 600 chevaux tandis que la puissance de celles qui viennent ensuite ne dépasse pas 2 200 chevaux, sont bien connues des lecteurs de ce journal par la description qui en a été donnée dans les articles que M. Pellissier consacrait, en 1896, aux installations de Niagara (t. VI. p. 453, 549, 577 ; t. VII, p. 54, 145). Notons toutefois que

M. Rateau indique quelques améliorations apportées dans la construction des turbines livrées en dernier lieu et donne, d'après un dessin fourni par les constructeurs, une coupe inédite de l'aubage. L'application de la théorie de M. Rateau au calcul du rendement de ces turbines conduit à un maximum de 0,82 ; des essais très soignés ont montré que ce rendement est certainement un peu supérieur à 0,80 ; il y a donc accord très satisfaisant entre la théorie et l'expérience.

Les turbines du second groupe sont souvent désignées sous le nom de turbines américaines. En réalité elles ont été, comme tous les autres systèmes de turbines, imaginées en France, mais les ingénieurs américains ayant, à la suite de Francis, reconnu les avantages de ce type, le développèrent énormément et créèrent une très grande variété d'espèces. Ces espèces sont habituellement classées en deux catégories : les centripètes proprement dites et les turbines mixtes, suivant que les ouvertures de sortie de l'aubage mobile sont disposées sur une surface cylindrique ou sur une surface de révolution plus ou moins compliquée qui s'éloigne de la forme cylindrique. D'après ce mode de classification il n'y aurait que très peu de turbines centripètes proprement dite ; presque toutes seraient du type mixte. Aussi M. Rateau préfère-t-il adopter une division faite sur la forme de l'entrée de l'aubage mobile : le genre centripète pur est celui où les triangles des vitesses à l'entrée de la roue mobile sont tous contenus dans des plans perpendiculaires à l'axe de rotation ou peu écartés de la perpendicularité, tandis que le genre mixte ou hélico centripète comprend tous les autres cas du type centripète général. On reconnaît à première vue ces deux genres en ce que, dans le premier, la roue mobile est cylindrique à l'extérieur, tandis que dans le second, elle est conique ou cylindro-conique. Toutes les turbines américaines sont du genre cylindrique ; ce n'est qu'assez récemment que les maisons suisses ont créé et appliqué le genre conique.

Comme exemple de turbines centripètes cylindriques M. Rateau décrit les turbines Hercules (voir *Écl. Élec.*, t. XIII, p. 193 ; 1897) et les nouvelles turbines de l'usine de Bellegarde, construites et installées par les ateliers de Vevey, et intéressantes par leur système de vannage. Les turbines coniques ou hélico-centripètes ont été utilisées dans ces derniers temps par la maison Escher-Wyss et C° pour des installations importantes comme celles de Chèvres (voir *Écl. Élect.*, t. VII, p. 385; 1896) et de Cusset (voir *Écl. Élect.*, t. VIII, p. 297 ; 1896) ; ces turbines sont décrites dans l'article.

2. M. Rateau passe ensuite à l'étude des vannages, ceux-ci se divisent en vannages à cylindres appliqués dans les centrifuges et dans les centripètes, et en vannages à aubes mobiles sur charnières qui sont utilisées seulement dans les centripètes ; les premiers se divisent eux-mêmes en deux classes suivant que le déplacement du cylindre est une translation parallèle à l'axe de la turbine, ou une rotation autour de cet axe.

Les turbines précédemment décrites de Niagara, Hercules et de Cusset montrent les trois types principaux de vannages cylindriques à translation. Dans les premières la vanne est à la sortie de la roue mobile ; dans les secondes elle est entre le distributeur et la roue mobile, enfin dans les turbines de Cusset elle est à l'entrée du distributeur. Les vannes cylindriques à rotation, applicables seulement aux turbines centripètes, peuvent être placées à l'entrée du distributeur comme dans les turbines coniques de Chèvres, ou dans l'épaisseur même du distributeur comme dans les turbines de Bellegarde ; elles peuvent aussi être placées à l'entrée de la roue mobile comme dans les turbines de Paderno, mais il faut alors obliquer les barreaux de ces vannes de manière à ce qu'ils deviennent les derniers éléments des distributeurs et cette disposition n'est pas sans inconvénients.

Les vannages à aubes à charnières sont principalement employés dans les turbines de construction américaine. La rotation des aubes autour de leurs charnières produit un changement de l'angle sous lequel l'eau sort du distributeur, et, par là, la section de sortie de ce distributeur se trouve modifiée. Ce mode de vannage est excellent en ce qu'il n'occasionne pas d'étranglements brusques des canaux distributeurs, mais il exige que les aubes soient bien calculées et il a le défaut d'une assez grande complication de pièces mobiles.

Tous les systèmes de vannage quels qu'ils soient ont toujours pour effet de faire tomber le rendement des turbines à réaction quand ils agissent. On a essayé de remédier à cet inconvénient, mais les dispositifs préconisés dans

ce but sont trop coûteux et peu pratiques.

3. Dans la troisième partie de son article, M. Rateau dit quelques mots de l'installation des turbines.

4. La quatrième partie, de beaucoup la plus importante, est consacrée à la théorie des turbines à réaction centrifuges et centripètes, à la comparaison des résultats fournis par l'application de cette théorie à quelques-unes des turbines citées précédemment avec ceux fournis par l'expérience, et à la critique de quelques dispositions de ces turbines. Dans l'impossibilité de donner un aperçu compréhensible de cette théorie sans entrer dans de trop longs développements, nous nous bornerons à dire qu'elle conduit l'auteur à préférer les turbines centripètes aux turbines centrifuges [1].

5. Après cette partie théorique nous trouvons quelques données pratiques sur la suspension des turbines verticales.

On emploie souvent encore des pivots noyés d'une construction très simple : un bloc de bois de gaiac ou de bois de chêne imprégné d'huile. Mais pour faciliter la surveillance on préfère de beaucoup les pivots suspendus à paliers ordinaires, ou à billes, ou à rouleaux coniques.

Dans le cas des turbines très pesantes, il est indispensable d'équilibrer une grande partie du poids par une poussée hydrostatique. Généralement, comme à Niagara, à Bellegarde, à Cusset, on utilise la pression de la chute elle-même pour produire cette poussée, soit sur le fond de la turbine employé comme piston, soit avec un piston

[1] Voici comment M. Rateau résume les avantages des turbines centripètes :

1° *Meilleur rendement mécanique.* — Nous avons montré que à égalité de coefficients de pertes à l'entrée de la roue mobile et dans les canaux de cette roue, le rendement maximum des centripètes est un peu plus élevé que celui des centrifuges et même que celui des hélicoïdes; la différence n'est pas grande, 2 p. 100 environ; mais il faut considérer aussi que les coefficients de pertes doivent être eux-mêmes plus faibles dans les centripètes puisque les ailes de la roue mobile y sont relativement moins courbes et moins longues que dans les autres genres.

Le gain sur le rendement devient maximum vers la vitesse relative de 0,80. Dans des conditions analogues, ce gain peut alors atteindre 4 à 5 p. 100.

2° *Application facile des amortisseurs.* — Le genre centripète se prête très bien, au moins lorsque l'axe est vertical, à l'application des amortisseurs qui se réduisent dans ce cas à de simples tuyaux coniques divergents, portant, ainsi que je l'ai dit précédemment quelques cloisons transversales pour rompre le tourbillonnement. Grâce à cet organe, le bénéfice sur le rendement s'accroîtrait encore de quelques unités p. 100.

3° *Plus grande vitesse relative.* — A égalité de rendement, ou même à rendement supérieur, la vitesse relative des centripètes peut être portée à un chiffre notablement plus élevé qu'avec les autres genres. Nous le voyons par les courbes de la figure 118. Il résulte de là que, à égalité du diamètre de la roue mobile, la vitesse angulaire est plus grande.

4° *Diamètre plus petit, ailes moins nombreuses.* — Nous avons constaté encore que, pour la même puissance, le diamètre de la roue est plus petit avec les centripètes. Les ailes peuvent aussi être moins nombreuses parce qu'il est possible de les prolonger jusque près de l'axe.

5° *Plus grande puissance.* — Il résulte des deux avantages précédents que, sur une même hauteur de chute et avec un même nombre de tours, l'on peut obtenir plus de puissance en employant le genre centripète. Nous l'avons nettement vu, il n'y a pas bien longtemps, en discutant la question des turbines de grande puissance.

6° *Plus grande facilité de vannage.* — Le distributeur étant, dans les centripètes, extérieur à la roue mobile, présente tout naturellement ses plus grandes sections à l'entrée. On a donc toute facilité pour trouver le logement des vannes, en rétrécissant au besoin les canaux distributeurs à l'endroit où une vanne doit trouver à s'effacer. Aussi voit-on dans les centripètes une bien plus grande variété de vannages que dans les centrifuges. Ces dernières ne permettent guère qu'une seule sorte de vanne, la vanne cylindrique à translation, placée, soit à l'entrée, soit à la sortie de la roue mobile.

On remarquera encore que les organes de distribution et de vannage étant extérieurs à la roue mobile, on trouve toujours à les placer même avec de très faibles diamètres de roue, qui seraient inadmissible avec des distributeurs extérieurs.

7° *Vitesse d'emballement plus faible.* — Nous avons vu que, avec la disposition centripète, la courbe de rendement tombe relativement plus vite quand la vitesse de rotation augmente au-delà de la vitesse normale. Autrement dit, la vitesse limite à charge nulle, qu'on appelle quelquefois vitesse à emballement, est, dans les centripètes, plus petite que le double de la vitesse normale (en rendement maximum), tandis qu'elle est sensiblement égale à cette valeur double dans le cas des hélicoïdes, et plus grande que ce double dans les centrifuges.

Il y a là une propriété qui peut être, dans certain cas, un avantage.

8° *Installation moins coûteuse.* — Enfin l'installation des centripètes est plus simple et moins coûteuse que pour les autres genres, quand la turbine est placée dans une chambre d'eau en maçonnerie.

Mais c'est l'inverse qui a lieu si la machine doit être enfermée dans une chambre métallique. La turbine centripète devient, dans ce cas, plus encombrante peut-être et en tous cas plus coûteuse que les autres. C'est là, à notre avis, le seul véritable défaut des turbines centripètes.

tournant spécialement ajouté pour cela. Mais les pistons présentent l'inconvénient d'occasionner quelques pertes par fuites autour d'eux et par frottement de leur surface sur l'eau ambiante, pertes qui sont loin d'être négligeables, si le piston est grand. Il est préférable de faire l'équilibrage au moyen d'un piston plus petit sous lequel on force au moyen d'une pompe *ad hoc* soit de l'eau, soit de l'huile ; l'extrémité inférieure de l'arbre peut être utilisée à cet effet comme dans quelques turbines de la maison Ganz et C°, mais pour rendre plus aisée la surveillance de cet organe, il convient mieux de placer le piston d'équilibrage hors de l'eau, comme à Chèvres ou à Rheinfelden.

6. M. Rateau donne ensuite quelques indications sur les turbines dites à faible emballement qui dispensent d'un réglage automatique pour empêcher la turbine de prendre une trop grande vitesse (généralement double de la vitesse normale en rendement maximum) lorsqu'on vient à supprimer brusquement la charge.

La diminution du degré d'emballement peut en effet être réalisée par divers moyens, mais ces moyens ne sont pas applicables aux turbines à veines moulées ayant une admission complète et pour celles-ci on n'a pas trouvé d'autre solution pour limiter l'emballement que les freins d'absorption électrique ou autres, qui entrent en action dès que la vitesse franchit une valeur déterminée. Mais l'appareil est alors compliqué et l'auteur est d'avis qu'il vaut mieux alors adopter un vannage avec régulateur automatique qui, sans être beaucoup plus compliqué, procure au moins l'avantage déconomiser l'eau.

7. Dans une dernière partie M. Rateau donne quelques notes sur l'influence des pertes sur la vitesse de rendement maximum et quelques remarques sur les pièces épures dans l'article.

T. P.

Étude du fonctionnement des moteurs à plusieurs cylindres, par **E. Lefer.** *Bulletin de la Société d'Encouragement*, t. V. (3), p. 58-117, janvier 1900.

Tandis que la plupart des machines à vapeur de construction françaises sont monocylindriques, la majorité des machines de construction étrangère sont à plusieurs cylindres. La lecture de l'important mémoire de M. E. Lefer suggère l'idée que si les constructeurs étrangers ont *théoriquement* raison, ce sont les constructeurs français qui, *pratiquement*, sont dans le vrai. Aussi, tout en recommandant à ceux qui s'occupent spécialement des machines à vapeur la lecture du mémoire original de M. Lefer, croyons-nous intéressant de donner ici un court aperçu de cette étude et d'en reproduire les conclusions.

1. Dès le début, l'auteur fait observer que bien que le système de détente fractionnée entre plusieurs cylindres ait été employé aussitôt que les moteurs à vapeur furent devenus assez pratiques pour pouvoir actionner des usines, le but qu'on se proposait d'atteindre en en faisant usage n'apparaît pas très clairement. Le principal avantage qu'on invoquait pour justifier son emploi dans les machines à balancier, alors d'un usage courant, était celui d'une plus grande régularité que lorsque la détente s'effectuait dans un seul cylindre. Mais il semble, d'autre part, résulter de l'étude de ces machines et de celles qui suivirent, qu'on se proposait surtout d'obtenir une détente totale assez étendue, tout en n'employant que des appareils de distribution rudimentaires et d'une simplicité qu'on se faisait un scrupule de ne pas changer, malgré les défauts que ces distributions présentaient.

Passant à l'historique de la question, M. Lefer rappelle que dans les premières machines à deux cylindres, la vapeur passait directement du petit au grand cylindre et les pistons, se mouvant dans le même sens ou en sens inverse, avaient des points morts communs ; ce sont les machines dites de Woolf, du nom du premier ingénieur qui, pratiquement, fit usage de ce genre de détente, déjà cependant appliqué, mais sans succès, par Hornblover (d'après Thurston, *Histoire de la machine à vapeur*). Plus tard vinrent les machines à plusieurs cylindres, séparés les uns des autres par des capacités intermédiaires de grand volume formant chambres de vapeur et jouant le rôle de condenseur pour la vapeur sortant du cylindre qui précède l'une d'elles et de chaudière pour le cylindre qui la suit ; ce sont les machines dites compound qui présentent sur les précédentes l'avantage, dont Dupuy de Lôme sut si bien tirer parti, de permettre l'emploi de plusieurs manivelles calées de façon à augmenter la régularité de la vitesse de rotation.

L'augmentation continue des pressions de marche des chaudières eut pour conséquence

de rendre plus nombreuses les applications des machines compound, en raison que ce genre de machine permettait de maintenir modérée la pression réelle supportée isolément par les pistons et organes de distribution à travers lesquels la vapeur passait successivement. Ces applications se développèrent encore lorsque l'étude des machines à vapeur, entreprise par Hirn, Hallauer, Dwelshauwers-Dery, Walther-Meunier et quelques autres expérimentateurs, eut mis en relief les qualités économiques des machines compound.

Toutefois, il ne semble pas que l'on ait, malgré ces travaux, des données bien précises sur ces genres de machines. Ainsi plusieurs ingénieurs préconisèrent des détentes successives quadruples ou quintuples, en se basant sur ce que plus on réduit les différences extrêmes des pressions de la vapeur et, par suite, les chutes de température dans chaque cylindre, plus on réduit les condensations internes et plus on réduit la consommation de vapeur; or l'expérience n'a pas toujours sanctionné ce raisonnement, et actuellement on se contente en général de ne pas fractionner la détente totale en plus de trois fois. D'autre part on n'est pas bien fixé sur les rapports volumétriques des cylindres, et il y a peu d'années on trouvait des rapports très différents d'une machine à l'autre; il est vrai qu'aujourd'hui ces rapports tendent à s'unifier et restent le plus souvent compris entre 2,6 et 3 pour le rapport du volume du deuxième cylindre à celui du premier, mais l'expérience paraît avoir eu une plus large part que la théorie dans cette uniformisation.

2. A la suite de ces préliminaires, M. Lefer examine les divers modes de fonctionnement et de travail de la vapeur dont il est fait usage actuellement en pratique et recherche quel est celui qui correspond au minimum de consommation.

Dans cette étude il s'appuie sur les mêmes données que celles qu'il a prises dans une étude antérieure des machines monocylindriques. Il admet que le grand cylindre a un volume de 1 m^3, que le moteur donne un coup de piston par seconde, que la surface additionnelle des espaces de construction est égale au dixième de la surface totale du piston et du couvercle et que la condensation produite au contact de ces surfaces, lors de l'introduction de la vapeur correspond à 0,00091 kg par mètre carré et par degré de différence de température interne. Pour pouvoir comparer les moteurs à plusieurs cylindres avec ceux à un seul cylindre, il admet, de plus, que la détente s'accomplit suivant la loi de Mariotte, bien que dans les moteurs à plusieurs cylindres il soit souvent loin d'en être ainsi.

Se plaçant dans les conditions correspondant à ces hypothèses primordiales, il calcule la consommation de vapeur par cheval indiqué et par heure, en supposant diverses valeurs pour : 1° le rapport volumétrique des cylindres, 2° le degré de l'introduction de la vapeur; 3° la pression de la vapeur admise ; et pour chacune de ces hypothèses secondaires il envisage successivement le cas des moteurs du système Woolf et du système compound à deux ou trois cylindres.

Les résultats des calculs sont indiqués par de nombreux tableaux qui permettent de se rendre facilement compte de l'influence de chacune des données variables considérée. Si nous prenons ceux relatifs aux moteurs compound à deux cylindres, nous trouvons qu'à une diminution du rapport volumétrique des cylindres correspond : 1° une augmentation du travail développé par la vapeur dans le premier cylindre, 2° une diminution de celui qui est développé dans le second, 3° une augmentation de travail total fourni par les deux cylindres, 4° une augmentation du poids de vapeur condensée dans le premier cylindre, 5° une diminution du poids condensé dans le second, 6° une diminution suivie d'une augmentation du poids total de vapeur condensée. Et une discussion plus serrée montre que les rapports compris entre 2 et 4 paraissent convenir mieux que les autres au point de vue de l'utilisation de la chaleur. La considération de l'influence du degré de l'introduction de vapeur montre qu'à un rapport volumétrique déterminé il existe un degré d'admission correspondant à un minimum de consommation de vapeur ; ce degré d'admission diminue quand la pression de la vapeur admise augmente.

3. Dans la troisième partie de son mémoire, M. Lefer examine un certain nombre de diagrammes relevés sur des machines à plusieurs cylindres et compare les résultats de cet examen à ceux de ses calculs. Cette comparaison le conduit à des conclusions intéressantes [1].

T. P.

---

[1] Voici ces conclusions :

« Les quelques consommations relatives aux moteurs

Sur les dynamos unipolaires, par **G. de Puydt**, communiqué par l'auteur.

M. de Puydt, l'un des inventeurs de l'intéressant dynamo unipolaire de Puydt et Poncin décrite dans le numéro de ce journal du 3 septembre 1899 (t. XVI, p. 407), nous communique les quelques pages qui suivent d'un ouvrage qu'il vient de livrer à l'impression, pages dans lesquelles se trouvent exposé le principe des dynamos unipolaires :

» 129. Dans certaines industries qui ont pris aujourd'hui beaucoup d'extension telles que l'électrolyse ou l'électrométallurgie on a besoin d'un courant très intense à très faible voltage. Il est alors plus avantageux et plus pratique de construire pour cet usage les dynamos dites « unipolaires ».

Exposé théorique. — » 130. Nous avons vu, au paragraphe 48, qu'il y a un travail effectué par une portion de conducteur parcouru par un courant, coupant dans son mouvement un flux magnétique de direction normale au chemin parcouru.

» Donc, si nous mettons en présence un aimant NS et une barre de cuivre AB parcourue

---

compound que nous avons données ci-dessus diffèrent notablement de celles que nous avons établies dans nos tableaux.

» Bien que nous en connaissions encore d'autres relatives à des moteurs compound à triple expansion très perfectionnés, et de constructeurs très réputés, nous ne les publions pas, parce qu'elles ne sont pas accompagnées de diagrammes, et aussi parce qu'elles ne descendent pas au-dessous de 6,500 kg de vapeur par cheval indiqué et par heure.

» Nous savons, et nous avons dit que les consommations théoriques approximatives inscrite dans nos tableaux sont des consommations limites, auxquelles le plus souvent, il sera difficile d'arriver. Cependant notre opinion est qu'on pourra en approcher très près.

» Si les consommations des machines compound et même à tiple expansion construites diffèrent tellement de celles que nous avons déterminées plus haut, au point d'être plus élevées que les consommations qu'on obtient avec les bonnes machines à un seul cylindre, cela tient à ce que le principe qu'on a tant invoqué pour prôner ces machines, à l'encontre de celles à un seul cylindre, n'a pas été appliqué dans touts sa rigueur.

» En effet, les partisans des machines compound répètent volontiers que, par l'emploi de deux ou un plus grand nombre de cylindres, on réduit dans ceux-ci les différences ou chutes des températures et que les condensations internes sont par là d'autant réduites. Ce raisonnement est parfaitement juste, mais d'autre part, et en général, on ne tient pas compte de l'étendue de la surface des parois en contact avec la vapeur, si bien que, ce qu'on a gagné par la réduction de la chute des températures, on le perd et au-delà par l'augmentation de la surface des parois, et à ce point que la consommation des moteurs compound, au lieu d'être inférieure à celle des moteurs à un seul cylindre leur devient de beaucoup supérieure, alors que beaucoup subissent cependant de grandes chutes internes de température, mais ont des parois dont les surfaces sont de plus en plus réduites.

» Sous l'action des parois, les condensations internes des moteurs à plusieurs cylindres sont considérables et ont pour effet immédiat de diminuer par déformation le diagramme réel obtenu pour une dépense donnée de vapeur. La puissance produite est donc diminuée, et plus cette perte de puissance est considérable, plus la consommation augmente.

» Tous les efforts doivent donc tendre à diminuer la perte par déformation du diagramme en diminuant les condensations internes qui en sont cause, c'est-à-dire en réduisant le plus possible les surfaces des parois.

» Il n'est pas besoin de démontrer l'importance d'un pareil sujet, ni les conséquences à en tirer au point de vue des moteurs à vapeur en général et des machines marines en particulier.

» Pour arriver à ce résultat, il faudra souvent renoncer aux distributions par tiroirs uniques, dont le principal défaut est d'exagérer les inconvénients que nous venons de signaler. Nous savons bien que la raison pour laquelle l'emploi de machines compound a été prôné [1] reposait en grande partie sur ce fait : qu'il était impossible de réaliser d'assez grandes détentes sous de faibles chutes de température dans chaque cylindre, et avec des appareils de distribution très simples comme le sont les distributeurs uniques, mais c'est là précisément qu'a été la cause de la consommation élevée des machines compound, sur lesquelles les machines à un seul cylindre ont pu conserver une supériorité de consommation, parce que, pour ces derniers moteurs, on a eu recours à tous les moyens propres à les améliorer, et que le principal de ces moyens a été l'emploi de distributions perfectionnées, permettant de réduire les surfaces des parois à leurs dernières limites. »

[1] Pour justifier l'emploi du moteur compound, on a aussi allégué qu'en cas de fuites des organes mobiles, le fonctionnement de ces moteurs était moins affecté que celui des moteurs à un cylindre. Les fuites des organes mobiles dépendent en grande partie de la perfection de leur ajustage et ne peuvent jamais être évitées complètement. Quand elles se produisent dans les moteurs à un cylindre, la force développée par ceux-ci n'est généralement pas altérée et la consommation seule augmente. Si, dans les moteurs compound, les fuites se produisent au premier cylindre, le travail fourni par celui-ci n'est généralement pas altéré et la consommation augmente tout comme pour les moteurs à un cylindre; mais si ces fuites se produisent au deuxième cylindre, il n'en est plus de même; la puissance produite par le moteur diminue et sa consommation augmente de ce fait. Ceci se comprend, car si l'on considère un poids de vapeur évoluant dans le deuxième cylindre, ce ne peut être qu'un poids parfaitement déterminé, et qui a été dosé par son passage dans le premier cylindre, et une partie de ce poids de vapeur s'échappe par des fuites, le travail qui sera produit sera réduit proportionnellement au poids de vapeur resté dans le deuxième cylindre, et tout se passera, en somme, comme s'il s'était produit une condensation de vapeur plus importante que celle qui a lieu réellement dans le deuxième cylindre.

par un courant électrique, dans les positions respectives indiquées dans la figure 74, et pouvant tous deux tourner autour de l'axe CD, les deux corps en présence exerceront l'un sur l'autre une action réciproque telle que l'aimant tendra à tourner dans un sens autour de l'axe commun, et la barre AB dans l'autre sens, avec la même force rotative.

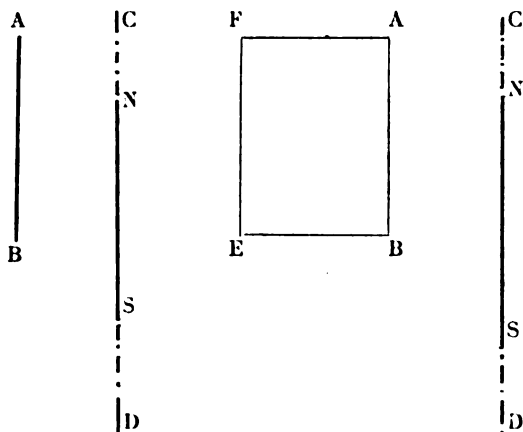


Fig. 74. Fig. 75.

» Pour une révolution complète dans ce mouvement *relatif* des deux corps, tout le flux F émanant du pôle N de l'aimant aura été coupé par le conducteur de courant I, et le travail effectué sera égal à FI ergs.

» 131. Pratiquement cette expérience est *inexécutable*, parce que le courant électrique ne peut circuler que dans un circuit fermé, de sorte que le courant qui va par exemple de A en B (fig. 75) après avoir coupé le flux en AB, retourne en A par BEFA, en coupant de nouveau le même flux magnétique en BE, en sens inverse de la première fois.

» Il s'ensuit que tandis que la partie de conducteur AB agit sur l'aimant pour le faire tourner dans un certain sens autour de CD, une partie du même conducteur BE, agit sur ce même aimant pour le faire tourner en sens inverse.

» La conséquence évidente est que l'aimant, étant soumis à deux forces égales et opposées, est en équilibre et ne cherche à tourner ni dans un sens ni dans l'autre.

» On peut donc le faire tourner sur lui-même à n'importe quelle vitesse sans aucun travail accompli et par conséquent sans aucun effet résultant sur le circuit électrique complet de ABEF.

» Il en sera de même, naturellement, du mouvement réciproque, c'est-à-dire de la rotation du conducteur complet ABEF autour de l'axe CD.

» 132. Mais si, par un système de contacts mobiles, on permet à une partie de conducteur AB, de tourner dans un sens, autour de CD, et au reste du conducteur BEFA, de tourner en sens inverse, tout en laissant circuler le courant électrique, immédiatement l'aimant fera tourner AB dans un sens et BEF dans l'autre, en restant lui-même immobile sous l'action des deux forces opposées et égales.

» Comme nous l'avons dit, sa propre rotation autour de CD ne changera rien au résultat, puisqu'il est en équilibre, et l'on pourra sans inconvénient le fixer à l'une des deux parties du conducteur, qui l'entraînera alors dans son propre mouvement.

» Si l'on arrête l'une des deux parties mobiles du conducteur, l'autre continuera à tourner avec la même vitesse que précédemment, puisque la même force continuera à agir sur elle.

» Cette expérience peut se faire de différentes façons, et la dynamo unipolaire décrite plus loin en est une application.

» Ici comme partout les efforts exercés entre les corps en présence sont donc *réciproques* et si l'aimant ne tourne pas c'est simplement parce qu'il agit lui-même contradictoirement sur deux autres corps ou partie de corps.

» 133. Réciproquement, si l'on imprime un mouvement relatif de rotation autour de CD, entre la barre AB et l'aimant NS, il se produira une différence de potentiel entre A et B égale à la quantité de flux coupé par seconde.

» Que ce soit l'aimant qui se tourne dans un sens, ou la barre qui tourne dans l'autre, autour de CD, l'effet résultant est naturellement identique.

» Mais si l'on veut mesurer cette différence de potentiel, en faisant tourner l'aimant et en laissant la barre fixe, il faudra compléter le circuit pour passer par un appareil de mesure quelconque, et ce que nous trouverons sera l'effet produit sur le conducteur entier ABEFA, effet qui sera nul comme nous l'avons vu au paragraphe 131. »

L'auteur explique ensuite comment on peut utiliser la force électromotrice produite et arrive ainsi à la construction d'une dynamo unipolaire.

Détermination et suppression de la différence de période entre les courants alternatifs de deux circuits, par **W. Ritter**. *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXI, p. 7, 4 janv. 1900.

Pour faciliter le couplage des alternateurs on se sert d'indicateurs de phases tels que lampes ou voltmètres connectés aux bornes des deux machines, soit directement, soit par l'intermédiaire de transformateurs. Mais il est possible de déterminer et d'annuler la différence de période entre les courants de deux circuits sans réunir ces deux circuits. Dans ces dispositifs les circuits utilisés pour décaler les phases forment des circuits séparés et les champs magnétiques de ces circuits agissent simultanément sur des conducteurs de telle sorte que des indications appropriées puissent marquer soit le synchronisme, soit l'avance ou le retard de l'un des deux courants.

Considérons par exemple des alternateurs triphasés en étoile OA, OB, OC et OA_1, OB_1, OC_1 en désignant par la même lettre les points qui seront au même potentiel lors du couplage. Aux bornes de ces alternateurs se trouvent montées des bobines inductrices, AB, BC, CA, etc., suivant le schéma de la figure 1. Deux bobines correspondantes telle que AB, B_1A_1 agissent sur un enroulement situé dans le même circuit magnétique. Les enroulements sont faits de telle sorte que l'induction soit nulle dans ce dernier circuit lors du synchronisme et maxima quand les deux courants sont décalés de 180°. Donc lorsqu'il y aura une différence de période entre les deux alternateurs, la force électromotrice de ce circuit variera périodiquement. En fermant le dernier circuit sur des lampes de phase on verra ces lampes s'allumer et s'éteindre périodiquement si les deux alternateurs n'ont pas même période : mais on ne pourra pas reconnaître celui qui tourne le plus vite.

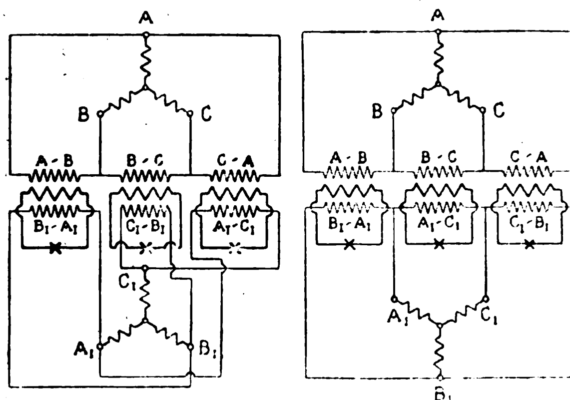


Fig. 1 et 2.

Pour faire cette distinction on emploiera le montage de la figure 2. Une seule paire d'inducteurs AB, A_1B_1, est reliée aux bornes correspondantes des machines, tandis que les deux autres paires de bobines agissant simultanément sont celles qui ne se correspondent pas ; ainsi on a les groupes BC, A_1C_1 et AC, C_1B_1. Alors les maxima et minima des tensions des trois circuits auxiliaires ne sont plus simultanés mais se produisent successivement et dans un ordre qui dépend de la façon dont les connexions sont faites. Mais en tout cas pour un montage déterminé cet ordre s'inverse quand un alternateur passe de l'avance au retard. Au moment du synchronisme la lampe AB, A_1B_1 s'éteint tandis que les autres brillent sous des tensions correspondantes.

Le dispositif précédent n'a rien d'obligatoire et peut être varié de bien des façons. La figure 3 représente un schéma où les enroulements inducteurs sont placés côté à côte et agissent simultanément sur un enroulement induit. Dans la figure 4 chaque bobine inductrice agit sur une bobine induite spéciale. Les bobines inductrices sont montées en étoile et les bobines induites deux par deux en série.

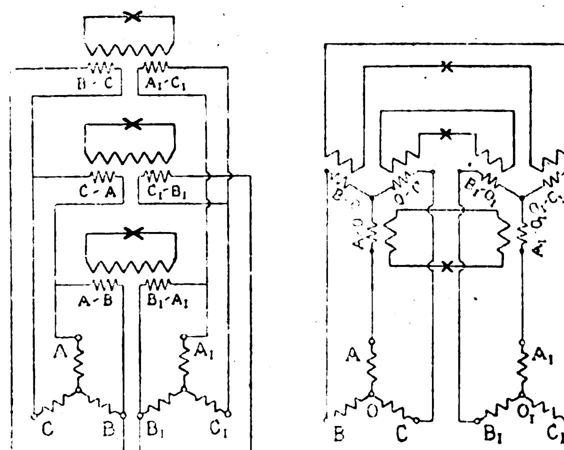


Fig. 3 et 4.

Les bobines induites peuvent aussi se grouper en étoile ou en triangle. On peut ainsi augmen-

ter le nombre des indicateurs de phase, ce qui permet de mieux juger la différence de phase. En effet, les phases des courants dans les bobines induites diffèrent de 120° l'une par rapport à l'autre. Si donc on réunit les bobines induites en étoile on a entre les sommets des tensions alternatives dont le maximum varie périodiquement : ces variations sont décalées d'un sixième de leur période par rapport aux variations de leurs composantes et les maxima sont plus élevés.

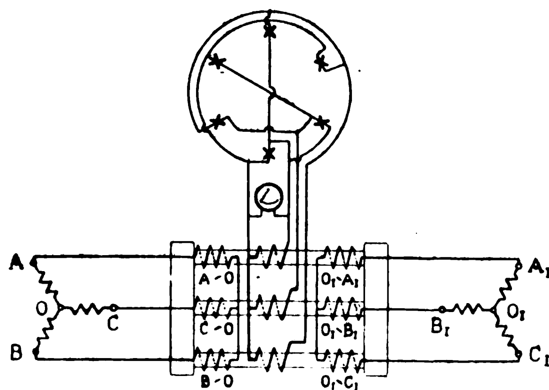


Fig. 5.

La figure 5 réalise un cas semblable. Les bobines correspondantes sont placées sur un même noyau qui forme leur liaison magnétique. Les bobines inductrices sont montées en étoile. Les bobines induites sont d'un côté montées en étoile ; par leurs extrémités libres elles sont montées à la fois en triangle et en étoile, chaque branche renfermant une lampe.

Comme les variations d'éclat des deux groupes de lampes sont décalées, et que dans chaque groupe les variations de chaque lampe sont décalées, on obtient avec le montage indiqué un allumage successif des six lampes.

Il est utile d'avoir un voltmètre monté en dérivation aux bornes de l'une des lampes pour préciser le moment le plus favorable au couplage.

On peut aussi faire concorder tous les circuits de manière à utiliser le décalage de leurs oscillations pour produire un champ tournant. Le sens de rotation de ce champ dépend de l'ordre des oscillations : au synchronisme la vitesse de rotation est nulle. Un rotor qui suivrait ce champ indiquerait d'après le sens de son mouvement quelle est la machine qui se meut le plus vite. Ce rotor pourrait d'ailleurs servir à régler automatiquement la marche des deux machines en agissant sur le régulateur.

Dans le premier dispositif, basé sur les lampes de phase s'allumant successivement, on ne peut pas distinguer le sens dans lequel les lampes s'allument s'il y a une grande différence entre les périodes des deux machines; si au contraire

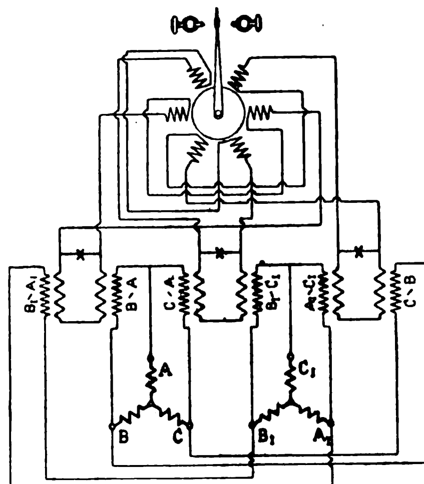


Fig. 6.

on se sert d'un moteur, le couple augmente avec la différence de période et on peut facilement le reconnaître, par exemple en limitant la course

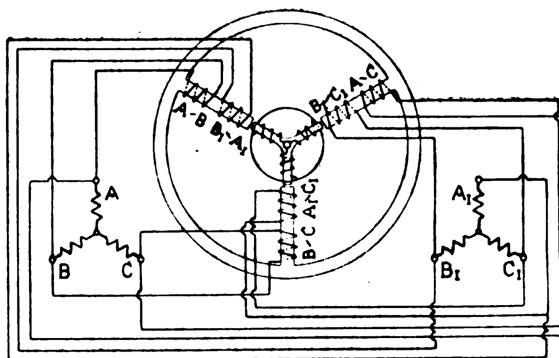


Fig. 7.

avec deux butées sur lesquelles vient frapper un levier entraîné par le moteur. Ce dispositif est représenté figure 6. On peut aussi se passer d'inducteurs de phases et alimenter le moteur directement au moyen des machines en se servant d'enroulements appropriés (fig. 7). Les pôles libres d'une culasse agissent sur un induit

mobile en forme d'étoile et portant un enroulement en court-circuit destiné à augmenter le couple.

L'inducteur de phase peut aussi être exécuté de façon à donner simultanément un champ tournant et des courants variables agissant sur des lampes de phase. Cet appareil se prête ainsi à la mesure des différences de période, qu'elles soient petites ou grandes.

La figure 8 représente l'un des nombreux mon-

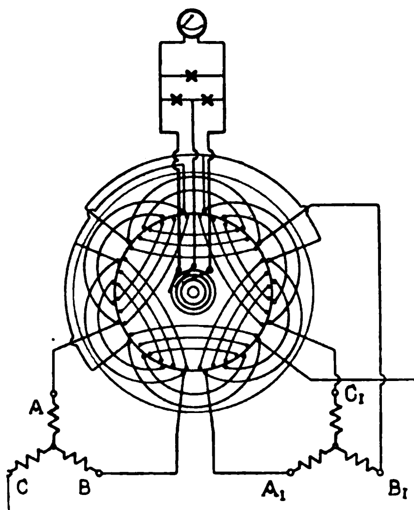


Fig. 8.

tages possibles. Six bobines sont groupées en cercle comme un enroulement en tambour. Trois bobines consécutives sont branchées sur l'une des machines et réunies en étoile. Les premières bobines des deux groupes qui sont diamétralement opposées sont réunies aux bornes correspondantes des deux machines ; les deuxièmes et troisièmes bobines sont respectivement réunies aux bornes non correspondantes. Chaque paire de bobines agit simultanément sur un enroulement induit formé de deux bobines en séries portées par une armature mobile. Les trois enroulements induits sont d'un côté directement groupés en étoile, tandis que leurs extrémités libres sont réunies aux lampes de phase par des conducteurs souples (les contacts glissants sont inutiles car la rotation se limite à un petit angle). Il se produit dans les bobines induites des courants alternatifs avec décalage et l'oscillation des amplitudes : ces courants donnent d'une part un couple moteur et d'autre part alimentent les lampes.

Les inducteurs de phase s'emploient aussi pour le couplage des alternateurs monophasés. On branchera différents circuits aux bornes de chaque alternateur et on décalera artificiellement les courants de ces circuits au moyen de bobines de self, transformateurs, condensateurs, etc. Deux de ces circuits suffisent d'ailleurs pour alimenter deux inducteurs de phase par machine.

E. B.

Etude graphique de l'influence des fuites magnétiques sur la régulation des transformateurs, par **F. G. Baum**. *The Electrical World*, vol. XXXV, n° 2, p. 63, 13 janvier 1900.

Le diagramme bien connu de M. Kapp [1] pour la détermination graphique de la chute de tension en fonction de la charge aux bornes secondaires d'un transformateur suppose, ce qui est le cas le plus normal, la tension primaire constante. M. F. G. Baum propose un diagramme analogue mais la chute de tension est déterminée en admettant que la tension aux bornes du secondaire reste constante quelle que soit la charge et en supposant que la tension primaire varie convenablement avec la charge pour qu'il en soit ainsi.

M. Baum montre d'abord que dans un transformateur à fuites magnétiques, représenté schématiquement sur la figure 1, la présence des

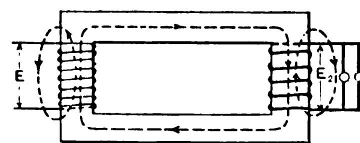


Fig. 1. — Schéma d'un transformateur à fuites magnétiques.

circuits de fuites revient à l'introduction, entre le circuit de la dynamo et le transformateur, et entre celui-ci et les appareils récepteurs de bobines d'inductance correspondant à un certain nombre de spires primaires et secondaires. Si L_1 et L_2 sont les coefficients de self-induction de ces bobines additionnelles, le schéma des circuits pourra être représenté par celui de la figure 2.

Dans le diagramme des tensions de la figure 3 identique à celui de Kapp et se rapportant à un

[1] Voir G. Kapp. *Transformateurs à courants alternatifs*, p. 118. Edition française, Baudry éditeur, Paris et *Éclairage Électrique*, t. III, p. 421, 1895.

circuit secondaire non inductif, on a ramené comme dans ce dernier la tension primaire à la

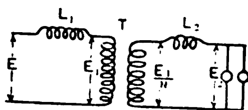


Fig. 2. — Représentation schématique des circuits d'un transformateur à fuites magnétiques.

valeur qu'elle aurait si le rapport de transformation était égal à l'unité. Le triangle *bdc* a pour

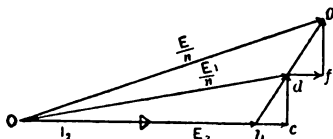


Fig. 3. — Diagramme d'un transformateur.

base *bc* la chute de tension ohmique dans le secondaire et pour hauteur *cd* la force électromotrice de self-induction due aux fuites secondaires. Si l'on suppose les courants primaire et secondaire en opposition de phase, ce qui revient à négliger le courant à vide qui est toujours petit vis-à-vis du courant en pleine charge, la chute ohmique $df = \frac{r_1 I_1}{n}$ dans le primaire sera parallèle à *bc* et la force contre-électromotrice de self-induction $fg = \frac{\omega L_1 I_1}{n}$ parallèle à *cd*, *n* étant le rapport de transformation.

En général on peut admettre que les deux triangles *bcd*, *dfg* sont semblables et même égaux;

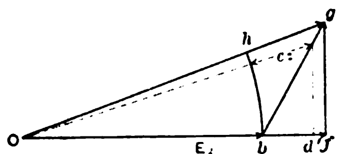


Fig. 4. — Diagramme de Baum (charge non inductive).

b, *d*, *g* sont alors en ligne droite et l'on peut remplacer les deux triangles par un seul *bfg* (fig. 4), dont la base *bf* est proportionnelle à la charge du transformateur puisque

$$bf = bc + af = r_2 I_2 + \frac{r_1 I_1}{n} = r_2 I_2 + \frac{r_1 I_2}{n^2} = I_2\left(r_2 + \frac{r_1}{n^2}\right).$$

Si maintenant avec E_2 comme rayon nous décrivons un arc de cercle *bh* de centre O, nous coupons sur une droite quelconque menée par O entre cet arc de cercle et la droite *bg* un segment e_2 qui représente la chute de tension pour la fraction de charge représentée par *bd'*.

Algébriquement, nous aurons pour la tension primaire en charge

$$\frac{E}{n} = \sqrt{(E_2 + bf)^2 + (fg)^2},$$

d'où l'on tire :

$$E_2 = \sqrt{\left(\frac{E}{n}\right)^2 - (fg)^2} - bf.$$

avec

$$bf = I_2\left(r_2 + \frac{r_1}{n^2}\right)$$

$$fg = I_2\left(\omega L_2 + \frac{\omega L_1}{n^2}\right).$$

En pratique les deux triangles *bcd*, *dfg* de la figure 3 ne peuvent être obtenus, mais la tension *bg* peut être facilement mesurée, comme on le sait, en court-circuitant par exemple le primaire et en cherchant la tension qu'il faut mettre aux bornes secondaires pour que les courants traversant les enroulements aient leur valeur normale ; on calcul ensuite *bf* par la formule

$$bf = I_2\left(r_2 + \frac{r_1}{n^2}\right).$$

Si le secondaire est court-circuité, la valeur de *bg* s'obtiendra en divisant la tension aux bornes primaires pour le court-circuit par le rapport de transformation et l'on calculera *bf* par :

$$n \times bf = r_1 I_1 + n r_2 I_2 = I_1 (r_1 + r_2 n^2).$$

Si la charge est inductive, l'application de la méthode précédente après détermination du triangle *bfg* est également très simple.

Le vecteur *bf* doit être porté dans une direction faisant avec E_2 un angle égal à l'angle de décalage dans le circuit d'utilisation, la figure 5 correspond au cas où le facteur de puissance est égal à 0,8.

Le lieu du point lorsque le facteur de puissance varie pour un même courant secondaire est un demi-cercle décrit du point *b* comme centre avec *bg* comme rayon, les positions limites du triangle *bfg* sont *bf'g'* *bf''g''* correspondant à

des décalages de 90° en avant ou en arrière de la tension respectivement.

La chute de tension s'obtient en traçant un cercle de centre O et de rayon E, comme plus haut, et en relevant la partie du vecteur Og compris entre les deux arcs de cercle.

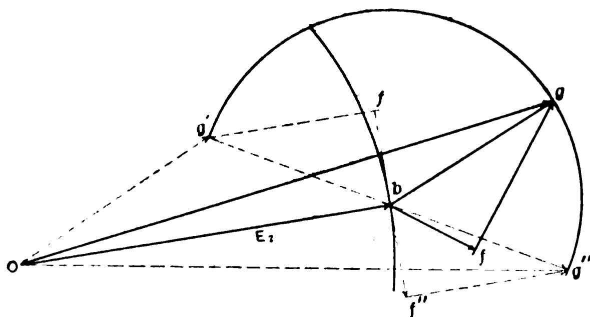


Fig. 5. — Diagramme de Baum (charge inductive).

On voit que pour un décalage du courant d en arrière de la tension secondaire, celle-ci s'abaisse avec la charge pour une même tension primaire, tandis qu'elle s'élève au contraire si le courant est décalé en avant de la tension. Les tensions aux bornes du réseau dans les cas extrêmes sont Og' et Og'' multipliées par le rapport de transformations. L'élévation de la tension avec des courants en avance de phase est intéressante à signaler pour les transmissions à longue distance.

Pour obtenir une bonne régulation quel que soit le facteur de puissance, il faut que fg soit très petit. Dans les meilleurs transformateurs, fg est plusieurs fois plus grand que bf.

L'équation générale de la tension secondaire pour une charge quelconque d'un facteur de puissance quelconque peut facilement s'écrire à l'inspection de la figure 5. J. R.

Le carbure de calcium considéré comme agent de transport d'énergie, par **E. Neuberg**. *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXI, p. 172, 1er mars 1900.

Si on soumet un mélange de 55,87 parties de chaux et de 35,91 parties de carbone à un courant de haute intensité on obtient du carbure de calcium. L'énergie du système formé par le courant et le mélange n'a pas été accrue par le courant, elle a simplement été transformée. Cette transformation est analogue à la charge d'une batterie d'accumulateurs et dans les deux cas on peut distinguer quatre phases :

1° Transformation de l'énergie calorifique en énergie électrique ;

2° Transformation de l'énergie électrique en énergie chimique ou calorifique ;

3° Transformation de l'énergie chimique ou calorifique en énergie électrique ou chimique ;

4° Transformation de l'énergie électrique ou chimique en énergie utilisable pour l'éclairage, le chauffage, la force motrice.

L'auteur étudie, au point de vue économique et thermodynamique, quel est le rendement que l'on peut obtenir dans un transport d'énergie au moyen de carbure de calcium. Il néglige d'ailleurs l'énergie nécessaire au transport même du carbure.

Pour comparer avec le rendement d'une batterie d'accumulateurs nous prendrons les chiffres de la station centrale de Berlin qui fournit le kilowatt-heure au prix de 70 centimes pour l'éclairage et de 20 centimes pour les autres usages. Les machines compound à triple expansion consomment 0,7 kgr de charbon anglais par cheval-heure, charbon qui donne 7500 calories par kilogramme. Le rendement de la dynamo est de 90 p. 100, celui des accumulateurs 85 p. 100 et la chute de tension de la canalisation est de 10 p. 100. Le rendement total est donc

$$\eta = \frac{T_u}{T_m}$$

avec

$$T_u = \frac{75 \times 3600}{424} \, 0{,}9 \times 0{,}85 \times 0{,}9 \text{ kg. cal.}$$

$$T_m = 0{,}7 \times 7500 \text{ kg cal.}$$

d'où l'on déduit

$$\eta = 0{,}084.$$

1000 calories utilisées pour l'éclairage coûtent

$$\frac{70 \times 1000}{60 \times 60 \times 0{,}24} = 80 \text{ centimes environ,}$$

et pour les autres usages

$$\frac{20 \times 1000}{60 \times 60 \times 0{,}24} = 23 \text{ centimes environ.}$$

Pour rechercher le prix de revient du carbure nous prendrons les chiffres de l'usine électrochimique de Rheinfelden. Le prix de revient moyen du carbure est de 44 fr les 100 kgr. Le prix du nettoyage, et de l'amortissement des appareils est environ la moitié du prix du car-

bure. Donc l'acétylène fournie par 100 kgr de carbure revient à 66 fr.

L'énergie absorbée et restituée par 1 kgr de carbure se décompose ainsi :

Travail fourni : par le courant . . .		4691 cal.
—	— les électrodes .	36,6
—	— le charbon. . .	4.820
	Total	9547,6 cal.
Travail restitué : chaleur fournie à l'eau de formation de l'acétylène		295 cal.
Combustion de l'acétylène		3860 »
	Total.	4155 cal.

Ce chiffre de 3860 calories correspond à une production de 317 litres par kilogramme et a pu être obtenu dans des mesures de précision ; dans la pratique il y a diverses causes de perte et l'on ne peut compter que sur une production de 287,5 litres par kilogramme. Si on compte 10 p. 100 de perte dans la canalisation, il reste 258,7 litres. Soit un travail utile de 3 150 calories.

D'autre part un cheval électrique aux bornes de la dynamo exige un travail hydraulique de 109 kilogrammètres. Donc le travail fourni

$$T_m = \frac{109 \times 4691}{75} + 36,6 + 4820 = 11\ 677 \text{ calories.}$$

ce qui donne un rendement total de $\eta = 0,27$.

Le prix de revient de 1000 calories produites par la combustion de l'acétylène est de

$$\frac{66 \times 1000}{3150} = 21 \text{ centimes environ}$$

Mais tous ces prix n'ont encore aucun intérêt pratique car ils ne tiennent pas compte du rendement des appareils d'utilisation. Cherchons ce rendement dans les deux cas.

I. *Lampes.* — Une lampe de 110 volts et 32 bougies consomme 0,8 ampère, ce qui fait par bougie et par heure

$$\frac{0,24 \times 110 \times 0,8 \times 3600}{0,084 \times 32 \times 1000} = 28,3 \text{ calories-kg.}$$

La bougie-heure électrique coûte

$$\frac{0,8 \times 110 \times 70}{1000 \times 32} = 0,189 \text{ centime.}$$

Un bec ordinaire d'acétylène consommant 21 litres par heure, soit 0,594 litres par bougie-heure, exige une quantité de charbon égale à

$$\frac{0,594 \times 3150}{0,27 \times 258,7} = 26,8 \text{ calories-kg.}$$

Donc la bougie-heure revient à

$$\frac{0,594 \times 66}{258} = 0,15 \text{ centime}$$

La durée d'utilisation et le prix d'une lampe électrique et d'un bec à acétylène sont à peu près égaux.

II. *Appareils de chauffage.* — Les renseignements qui suivent sont relatifs à une bouilloire électrique formée de deux vases de fer blanc l'un contenant l'autre, fortement soudés. La surface externe du vase intérieur est recouverte d'une couche d'émail isolante sur laquelle sont fixées des bandes d'or ou d'argent. Entre les deux vases se trouve un espace d'air qui diminue le rayonnement. Dans les bouilloires plus grandes il y a deux spirales, l'une au fond, l'autre sur les parois ; elles aboutissent à trois contacts, ce qui permet soit d'en utiliser une seule, soit de mettre les deux en série, soit de les mettre en parallèle. On a chauffé 1 350 gr d'eau distillée de 30° à 92° sous 110 volts. Le tableau suivant donne les résultats :

RÉSISTANCE	I	TEMPS EN secondes	RENDEMENT thermique
			p. 100
Spirales en parallèle. .	7,11	518	83
Spirale latérale. . . .	5,44	682,7	81,25
Spirale de fond. . . .	1,82	2350	71,4
Spirales en série . . .	1,35	3145	70,4

Le rendement total du chauffage électrique est donc de

$$\eta = 0,084 \times 0,83 = 0,0697$$

Donc pour chauffer 1 350 gr d'eau de 30 à 92 la dépense est de 2,35 centimes.

On a employé pour la comparaison, un appareil de chauffage à acétylène consommant 40 litres sous une pression de 80 mm.

1 350 gr d'eau ont été chauffés dans un vase émaillé de 1 600 cm³ de 30 à 92°, ce qui a duré 1 121 secondes avec une consommation de 13,51 litres d'acétylène (à 760 mm et à 0°).

Le rendement thermique est donc de

$$\eta_t = 0,513.$$

et le rendement total $\eta = 0,1382$.

La dépense est donc de 3,44 centimes.

Ainsi donc le chauffage à l'électricité est supérieur au chauffage à l'acétylène. Il est plus propre, meilleur marché, très facilement réglable (ce qui n'est pas le cas pour l'acétylène, car une diminution de pression amène souvent l'extinction). Par contre le coût des appareils de chauffage électrique est bien plus élevé que celui des appareils à acétylène. En outre le prix de revient du chauffage électrique est 3,44 fois plus élevé si on ne dispose pas d'un circuit spécial.

III. *Moteurs*. — Un électromoteur shunt d'une puissance de 6 chevaux a un rendement thermique de 81 p. 100, ce qui correspond à un rendement total de $\eta = 0,81 \times 0,084 = 0,068$.

1 cheval-heure électrique coûte

$$\frac{736 \times 20}{1000 \times 0,81} = 18,09 \text{ centimes.}$$

Comme point de comparaison, nous prendrons les chiffres de Cuinat (1). Le moteur à acétylène avait, à pleine charge, un rendement thermique de 30,2 p. 100, soit un rendement total de

$$\eta = 0,27 \times 0,302 = 0,0815.$$

Le cheval-heure coûte donc environ 44 centimes.

Il faut en outre tenir compte de l'amortissement, de la dépense d'huile et d'eau froide, du service et des variations du rendement avec la charge. Tous ces accessoires sont plus importants pour l'acétylène que pour l'électricité. A puissance égale le coût d'un moteur à acétylène est de 2,59 fois le prix d'un électromoteur, entre 1 et 30 chevaux. Le prix d'amortissement est donc 2,59 fois plus élevé.

Ajoutons que la mise en route d'un moteur à acétylène est bien plus compliquée que celle d'un électromoteur.

Tous les résultats précédents ont été traduits dans le tableau de la colonne suivante :

Ce tableau montre qu'un transport de force par carbure de calcium est plus rationnel qu'un transport de force électrique, au point de vue de l'économie de chaleur.

(1) *Zeitschrift für Calcium Carbid Fabrication* 1899. p. 202 à 222. Voir aussi *L'Éclairage Électrique*, t. XII, p. 140, 10 juillet 1899.

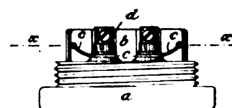
	ÉLECTRICITÉ	ACÉTYLÈNE	DIFFÉRENCE en p. 100 pour l'acétylène
Rendement total du transport d'énergie en p. 100	8,4	27	+ 222
Rendement total du chauffage en p. 100	6,97	13,82	+ 98,5
Rendement total d'un moteur de 6 chevaux en p. 100	6,8	8,15	+ 20
Equivalent d'une bougie-heure en calories-kg			
total	28,3	26,8	+ 5,5
thermique	2,38	7,24	— 204
Rendement thermique du chauffage en p. 100	83	51,3	— 62
Rendement thermique d'un moteur de 6 chevaux	81	30,2	— 168
Prix de 1000 calories-kg en centimes			
pour l'éclairage	80	21	+ 285
pour la force motrice	23	21	+ 11
Prix d'une bougie-heure	0,189	0,150	+ 25
Prix du chauffage, le prix du chauffage électrique étant 1	1	1,46	— 46
Prix du cheval-heure pour un moteur de 6 chevaux	18,09	44	— 141

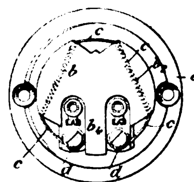
Par contre, le rendement des appareils d'utilisation est bien meilleur pour les appareils électriques que pour l'acétylène.

Malgré cela l'éclairage à l'acétylène revient meilleur marché (surtout pour un transport de plusieurs centaines de kilomètres), mais l'acétylène ne peut pas concourir avec l'électricité pour la force motrice. E. B.

Coupe-circuit fusible Taylor. Brevet anglais n° 12183, déposé le 12 juin 1899, accepté le 5 août 1899.

Dans la construction de ce coupe-circuit, l'inventeur s'est proposé de disposer une assez





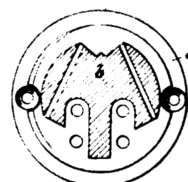


Fig 1, 2 et 3. — Coupe-circuit fusible Taylor.

grande longueur de fil dans un appareil de dimensions ordinaires et en même temps de le placer de telle sorte que les gouttelettes provenant de sa fusion ne puissent s'échapper au dehors.

La figure 1 donne la vue en place de l'appareil, le couvercle enlevé ; la figure 2 représente une section horizontale suivant la ligne indiquée en $x\ x$ sur la figure 3 qui donne une élévation du coupe-circuit. Sur le socle a de l'appareil est fixé une pièce isolanie l percée de deux trous dans lesquels passe le fusible attaché aux bornes d. J. R.

MESURES

Compteur horaire J. Villy, à cadrans multiples.

Ce nouveau compteur horaire est caractérisé par le fait qu'il permet de contrôler isolément les lampes ou groupes de lampes d'une installation (quatre groupes avec le modèle de la figure 1).

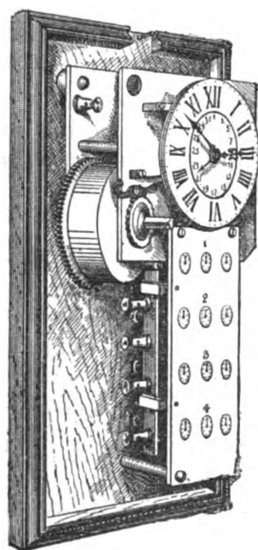


Fig. 1.

Il se compose d'un mouvement d'horlogerie, qui fonctionne 40 jours sans être remonté ; celui-ci actionne, par une prise sur un de ses rouages, une série de roues égales engrenant les unes avec les autres placées dans un même plan vertical et en aussi grand nombre que le compteur comporte de jeux de cadrans ; ces roues tournent à raison d'un tour en dix heures.

En regard de chacune de ces roues s'en trouve une autre de même diamètre, dont l'axe porte l'aiguille du cadran des unités ; la totalisation se fait à l'aide d'une minuterie ordinaire.

Quand on ferme le circuit d'une lampe ou d'un groupe de lampes, le courant actionne un dispositif qui provoque l'embrayage de deux roues en regard et met en marche le totalisateur correspondant ; à la rupture du courant, les deux roues redeviennent indépendantes et les aiguilles s'arrêtent. Un dispositif spécial immobilise les aiguilles pendant l'arrêt.

Ce compteur, de construction très simple et partant d'un prix de revient peu élevé, peut rendre de grands services dans les petites installations où les compteurs d'énergie se trouvent presque prohibés par suite de leur prix trop élevé, et particulièrement dans les installations rurales où il permettrait de remplacer avantageusement la tarification à forfait, à tant par lampe quelle que soit la durée d'utilisation, mode de tarification encore souvent adopté à cause de sa simplicité, mais dont les inconvénients sont évidents. P. N.

Méthode de mesure de la fréquence des courants alternatifs, de l'**Institut de Massachussets.**

The Technology Quaterly.

La méthode dont il s'agit a été appliquée à la mesure des changements dans la fréquence des courants alternatifs de 60 périodes environ.

Un diapason disposé horizontalement porte un contact D (fig. 1) formé par une petite tige bien

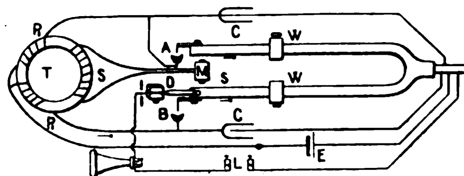


Fig. 1.

effilée fixée à l'extrémité de la branche S; cette pointe oscille sur la surface polie de deux petits blocs d'ivoire I séparés par une lame de platine de 0,02 pouce d'épaisseur ; le frottement est tout à fait négligeable et la pièce est disposée de telle sorte que le contact métallique ait lieu lorsque la branche du diapason est ou passe dans sa position d'équilibre.

Le contact est en série avec un téléphone ; L représente les bornes du courant alternatif dont on doit déterminer la fréquence. Le dia-

pason étant en vibration, si sa période est la même que celle du courant, le contact a toujours lieu lorsque l'ondulation de la source est au même point de sa phase ; par suite le téléphone doit rendre un son de hauteur constante ou n'en faire entendre aucun, suivant la différence de phase du diapason et du courant. Mais si ces deux vibrations présentent une faible différence dans la période, les fluctuations donnent naissance à des battements dont l'amplitude dépend précisément de cette différence de période. On déplace alors les poids W jusqu'à ce que ces battements aient disparu ; la période du diapason étant connue d'après la position des poids, on a par là le nombre d'oscillations de la source.

Un diapason déterminé peut aussi servir à mesurer des nombres de périodes différents de celui pour lequel il est accordé. Si le diapason peut par exemple être ajusté de façon à donner tout nombre d'oscillations simples compris entre 110 et 130, il pourra n'occasionner aucun battement pour des périodes de courant comprises entre 55 et 65 et entre 165 et 195 ; il permet par suite de mesurer des périodes comprises dans les trois régions énumérées. Supposons un alternateur produisant 120 oscillations par seconde et le diapason ajusté de façon à éviter tout battement ; si la vitesse de la machine vient à se modifier de façon à faire percevoir un battement toutes les 5 secondes, on doit en conclure que le nombre d'oscillations de la dynamo est changé d'une unité en 10 secondes.

On peut déduire de là un procédé de mesure des variations dans la vitesse d'une machine à laquelle est liée une petite génératrice à courant alternatif. Pour des observations prolongées il est préférable de remplacer le téléphone par un appareil enregistreur.

Le diapason est actionné électriquement, ses deux branches sont aimantées, l'une a la polarisation nord et l'autre sud ; entre les deux est un électro M dont la bobine est liée avec l'enroulement secondaire d'un transformateur à anneau T dont le primaire est constitué par deux bobines P_1 P_2 enroulées en sens contraire, et placées dans le circuit d'un accumulateur E, circuit qui peut être fermé par les contacts à mercure A et B ; ceux-ci sont disposés de telle sorte que lorsque les branches du diapason passent par la position d'équilibre l'un des circuits se ferme et l'autre s'ouvre. Quand les branches se rapprochent l'une de l'autre, le courant passe dans P_2 jusqu'à ce qu'elles soient dans la position d'équilibre, à ce moment le circuit de P_2 s'ouvre et celui de P_1 se ferme. Le courant magnétisant est alors renversé dans le noyau, par suite un courant instantané est induit dans S qui excite M et provoque une attraction sur les branches N et S. Si, au contraire, les branches s'écartent l'une de l'autre à partir de la position d'équilibre, le circuit P_1 s'ouvre tandis que P_2 se ferme, et le courant induit par suite dans S provoque une répulsion de N et S par M. De cette façon le diapason est entretenu en activité dès que les branches passent par la position moyenne. L'emploi du condensateur C de 0,3 microfarad rend presque insensible l'étincelle.

G. G.

Indicateur de perte de courant de la Société Krüger et Cie de Berlin.

L'appareil construit par la Société Krüger permet de surveiller un réseau de distribution, au point de vue des fuites du courant, sans en interrompre le fonctionnement. En principe, la méthode consiste à mesurer la différence d'intensité entre deux points du conducteur en examen ; on peut employer dans ce but soit un galvanomètre différentiel soit un galvanomètre simple en dérivation sur un double point (D. R. P. 105 272).

La méthode s'applique tout aussi bien aux câbles ou aux fils aériens ou souterrains toujours plus ou moins isolés, elle a l'avantage d'indiquer le défaut entre les deux points considérés sans qu'il y ait influence des défauts qui peuvent avoir lieu en d'autres endroits. On peut au moyen de fils de vérification s'occuper de l'isolement d'un seul conducteur.

Le câble en essai est traversé par exemple par un courant dont l'intensité est i_1 entre les points 1 et 2 et i_2 entre les points 3 et 4 (fig. 1).

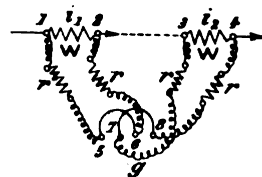


Fig. 1.

Aux extrémités des résistances égales W des régions 1-2 et 3-4 sont branchés les fils qui par

l'intermédiaire des résistances r vont aux bornes du galvanomètre différentiel g. La déviation du galvanomètre indique une différence dans les intensités et par suite une perte de courant entre 1-2 et 3-4.

Dans la pratique, il est plus commode d'employer un double pont (fig. 2) avec galvanomètre à simple enroulement.

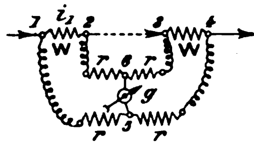


Fig. 2.

Ce système différentiel permet de déterminer les pertes à la terre ou autres, de surveiller d'une façon continue l'isolation, de déceler les courants dérivés dans les tramways électriques, etc. L'indication galvanométrique est indépendante de l'intensité du courant et de la charge de la ligne, ainsi que des autres défauts d'isolement qui peuvent avoir lieu en dehors de la région localisée.

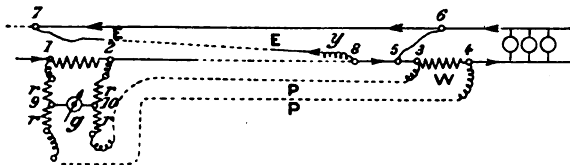


Fig. 3.

La figure 3 représente le schéma des connexions dans le cas où l'on vérifie un fil isolé par la méthode du double pont. A la station centrale en 1-2 est une petite résistance pour courant de forte intensité, une autre égale est placée à l'extrémité en 3-4. La différence de tension entre les ponts extrêmes 3 et 4 de cette dernière résistance peut être mesurée par les fils d'essai P qui reviennent à la station. Le quotient de cette différence par la valeur W de la résistance donne l'intensité du courant qui parcourt 3-4 ; l'intensité en 1-2 peut être mesurée par les fils de mesure insérés en 1 et 2. Le galvanomètre g est relié à ces différents fils par l'intermédiaire de résistances r. La déviation correspond à la différence des intensités en 1-2 et 3-4 et comme aucune prise n'a lieu dans la région 2-3, elle correspond à la quantité perdue par défaut d'isolement. L'indication est indépendante des autres pertes du réseau (par exemple en 7).

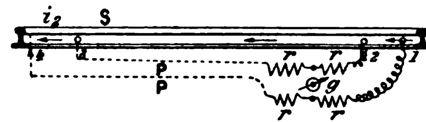


Fig. 4.

La disposition est analogue pour le rail conducteur dans le cas de traction électrique (fig. 4). Les deux résistances W sont simplement remplacées par deux bandes de frottement du rail et la déviation galvanométrique indique encore la perte par courants dérivés entre ces deux bandes. Si une région présente un isolement susceptible de s'altérer on peut laisser en permanence l'appareil sur cette partie et l'on obtient un contrôle permanent. G. G.

RECHERCHES SCIENTIFIQUES

Influence d'une élévation de température sur l'électroluminescence d'un gaz raréfié, par J. Stark, *Dr. Ann.*, I., 424-430, février 1900.

La différence de potentiel entre les électrodes d'un tube à gaz raréfié étant abaissée jusqu'à la limite où la décharge ne passe plus, il suffit de porter au rouge ou au rouge blanc un corps placé dans le gaz pour que la décharge apparaisse de nouveau.

L'élévation de température diminue donc la différence de potentiel nécessaire à la décharge, surtout pour l'électricité négative : en effet le phénomène est surtout marqué quend c'est la cathode elle-même que l'on porte au rouge. On obtient alors avec une différence de potentiel rélativement basse, la décharge sous forme de lueurs bleuâtres. En prenant comme cathode le filament d'une lampe à incandescence et comme anode un fil de métal introduit dans l'ampoule, une différence de potentiel de 150 volts suffit.

C'est à une décharge de ce genre entre les deux extrémités du filament qu'est due l'auréole observée fréquemment autour de l'extrémité positive dans les lampes à incandescence.

L'élévation de température provoque aussi la rétrogradation des couches de lumière positive qui se trouvent entre l'anode et le corps incandescent, vers l'anode. Si la cathode elle-même

est incandescente, la région de séparation devient alors très grande.

Les phénomènes lumineux observés dans ces diverses expériences dépendent de l'abaissement du potentiel de décharge et ne sont qu'une conséquence indirecte de l'élévation de température : en effet, l'élévation de température entraîne une variation notable de l'intensité du courant dans le gaz [1].

Pour éliminer cette variation, sauf quand la cathode est incandescente, il suffit d'employer une différence de potentiel supérieure d'une centaine de volts à celle qui suffirait à entretenir la décharge.

Quand le corps incandescent se trouve dans la lumière positive, la phosphorescence s'affaiblit ou s'éteint ; s'il y a des stratifications, le corps incandescent les absorbe dans son voisinage ; s'il n'y a pas de stratifications, il découpe dans la lumière positive une région sombre. Si le corps incandescent est très près de l'anode, la lueur positive s'éteint complètement : de même la lumière positive, si elle est courte.

La lueur négative est affaiblie, mais non éteinte quand on y place le corps incandescent : les rayons cathodiques n'éprouvent pas de modification sensible.

Les décharges électriques ne provoquent donc plus la luminescence, au contact d'un corps porté au rouge blanc. Sans doute, sous l'influence de l'élévation de température, le gaz se dissocie davantage et perd la faculté de devenir phosphorescent. M. L.

Ecrans fluorescents, par **J. Precht**. *Dr. Ann.*, 420-424, février 1900.

Precht ne pense pas que la fluorescence soit liée à une transformation chimique : il n'a pu constater ni changement de coloration, ni fatigue des écrans qu'il a employés.

Il a déterminé le temps nécessaire pour faire apparaître sur un écran recouvert de blende de Sidot les os de la paume de la main : ce temps est d'autant plus court que le tube est plus dur. Il en est de même pour les écrans recouverts de platinocyanure de baryum. Ce temps augmente aussi quand on interpose entre le tube et l'écran des piles de papier imprimé : ce qui ne paraît pas favorable à l'hypothèse d'une absorption sélective.

M. L.

Sur les tensions et autres effets produits par l'électrisation sur la résine et sur un mélange visqueux de résine et d'huile, par **J.-W. Swan**. *Proceedings of the Royal Society of London*, t. LXII, p. 38. Résumé dans le *Journal de Physique*, 3e série, t. IX, mars 1900, p. 170.

On disposait, sur des plaques de mica ou de verre, une couche de résine ou d'un mélange de résine et d'huile qu'on pouvait porter à une certaine température. Au-dessus et au-dessous de ces plaques on faisait arriver les extrémités d'un interrupteur en communication avec une machine de Wimshurst ou une bobine de Ruhmkorff.

En faisant éclater une étincelle on obtient, dans la résine, des figures qui ont beaucoup d'analogie avec les figures de Lichtenberg. En employant de la résine solide, on peut les rendre visibles soit en chauffant légèrement, soit en approchant des poussières. Cette électrisation se conserve pendant plusieurs mois.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

ACADÉMIE DES SCIENCES

(*Séance du 2 avril*)

Sur une machine à résoudre les équations, par **Georges Meslin**. *Compt. rend.*, t. CXXX, p. 888-891.

L'ingénieux appareil imaginé par l'auteur permet de résoudre les équations numériques de la forme.

$$px^{n} + p'x^{n'} + \ldots + p''x^{n''} = A.$$

Il est constitué par un fléau de balance sous lequel sont fixés par des tiges rigides une série de solides de révolution dont les axes sont verticaux, qui présentent une pointe à la partie infé-

[1] *L'Éclairage Électrique*, XXI, p. 239.

rieure et *dont la forme et les dimensions sont telles que le volume V compris entre cette extrémité inférieure et un plan horizontal soit proportionnel à la puissance $n^{\text{ième}}$ ou $n'^{\text{ième}}$ de la distance x du sommet au plan.* Ces corps que l'auteur appelle, pour abréger, *solides d'ordre n ou n'*, et qu'on façonne une fois pour toutes [1], sont fixés sous le fléau à des distances respectivement proportionnelles à p, p', p'', à droite ou à gauche, suivant le signe du coefficient correspondant, et de manière que leur sommet soit dans un même plan horizontal, lorsque le fléau est lui-même horizontal.

On équilibre la balance, puis l'on ajoute sur l'un des fléaux, à la distance prise pour unité, un poids égal à A, d'un côté ou de l'autre suivant le signe de ce terme ; l'équilibre est rompu, mais si l'on a disposé au-dessous du fléau un ou plusieurs vases communiquants contenant de l'eau dont on puisse élever le niveau, chacun des corps graduellement immergé reçoit une poussée croissante qu'il transmet au fléau et qui finit par le rendre horizontal, l'appareil restant constamment en prise pendant cette opération.

Si l'on désigne par x la hauteur immergée à ce moment, les forces exercées sur les corps sont représentées par x^n, $x^{n'}$, $x^{n''}$; elles agissent à des distances p, p', p'' ; on a, d'autre part, une force A qui agit à la distance 1. En écrivant que la somme des moments des forces est alors nulle, on voit que la longueur x satisfait à la condition

$$px^n + p'x^{n'} + \ldots + p''x^{n''} = A;$$

(1) La forme de ces divers solides est facile à déterminer : Pour le solide d'ordre 1 elle est fixée par la condition $V = kx$; ce solide est donc un cylindre. Si l'on veut qu'à une valeur de x égale à 1 cm corresponde une variation de V égale à un dixième de centimètre cube, on trouve que le rayon de ce cylindre doit être de 0,18 cm.

La forme du solide d'ordre 2 est fixée par la condition $V = kx^2$, qui devient $\pi y^2 dx = 2kx dx$, en désignant par y le rayon de la section de ce solide, supposé de révolution, par un plan situé à une distance x du sommet ; c'est donc un paraboloïde de révolution, et l'on trouve $k = 0,1$ si l'on s'impose les mêmes conditions que ci-dessus.

On voit aussi simplement que le solide d'ordre 3 est un cône de révolution qui, pour une hauteur de 10 cm, doit avoir 6,22 cm pour diamètre de base.

Pour les solides d'ordres supérieurs on détermine la forme de la méridienne d'une manière analogue.

Ces solides peuvent être fabriqués en aluminium de manière à être légers et à pouvoir être travaillés au tour jusqu'à coïncidence parfaite avec le profil qu'on aura préalablement découpé.

cette hauteur mesurée sera donc solution de l'équation [1].

M. Meslin a réalisé un appareil permettant de trouver les racines d'une équation du troisième degré avec une petite balance sensible dont les bras de fléau n'avaient que 12 cm de long. Les solides qu'il a construits n'ayant que 10 cm de hauteur, son appareil ne peut donner que les racines comprises entre 0 et 10 ; mais pour obtenir les racines plus grandes il suffit de transformer l'équation de manière à réduire ces racines dans un rapport convenable ; pour avoir les racines négatives, on fait subir à l'équation la transformation correspondante.

L'obtention des racines positives inférieures à 10 se fait très simplement en élevant peu à peu le niveau de l'eau dans les vases communiquants où sont plongés les solides ; lorsqu'on passe par une racine simple, l'inclinaison change de sens de part et d'autre de cette valeur ; pour une racine double, le fléau s'incline du même côté avant et après le passage.

Sur la propriété de certains corps de perdre leur phosphorescence par la chaleur et de la reprendre par le refroidissement, par **Gustave Le Bon** (*Comptes rendus*, t. CXXX, p. 891-894).

Dans l'étude de quatre échantillons de matières radio-actives à base de bromure de baryum fournis par la fabrique de List (Hanovre) l'auteur a reconnu les faits suivants :

« Trois échantillons sur quatre possèdent une phosphorescence intense sans avoir été exposés à la lumière. Le quatrième ne présente aucune phosphorescence visible, mais il possède une phosphorescence invisible qu'on rend visible dans l'obscurité, en mettant son contenu sur une plaque métallique chauffée à 200°. Portée à la même température, la matière douée de phosphorescence visible s'éteint en quelques

(1) Si, au lieu d'eau, on employait du mercure, la poussée serait 13,6 fois plus grande ; l'effet serait le même que, si le liquide étant de l'eau, le solide était placé à une distance 13,6 fois plus grande : on pourra donc recourir à ce liquide si les coefficients ou certains d'entre eux étaient trop grands ; on réduirait les distances dans le rapport de 13,6 à 1 en faisant plonger les solides correspondants dans du mercure, les éprouvettes contenant les liquides seraient placées sur une table mobile, les surfaces libres étant à la même hauteur, puis on élèverait le niveau de la table ou l'on descendrait le fléau comme dans la balance hydrostatique.

secondes, mais redevient phosphorescente dès qu'on la refroidit. En la portant de nouveau sur la plaque chauffée, elle s'éteint, puis brille encore par le refroidissement, et cette série d'opérations peut être répétée indéfiniment. La matière douée de phosphorescence invisible et qui devient brillante vers 200°, s'éteint également très vite sous l'influence de cette température, mais ne brille pas de nouveau par le refroidissement. Elle ne commence à reprendre la propriété de devenir phosphorescente par la chaleur qu'après quelques heures de séjour dans l'obscurité. Elle ne la reprend complètement qu'au bout de deux ou trois jours. »

L'auteur pense que les phénomènes de l'extinction de la phosphorescence par la chaleur et sa régénération par le refroidissement sont dus à une série de réactions chimiques se formant et se détruisant sous l'influence de variations de température. A l'appui de cette opinion, il cite les résultats obtenus avec le sulfate de quinine, corps qui est aussi capable de décharger un électroscope, comme les substances radio-actives précédentes, lorsqu'on l'approche de cet instrument immédiatement après qu'il a été chauffé : le sulfate de quinine porté à 200° devient phosphorescent puis s'éteint au bout de quelques instants pour redevenir phosphorescent par refroidissement, la même série de phénomènes pouvant être reproduite indéfiniment ; comme le sulfate de quinine se déshydrate au-dessus de 100° et s'hydrate à une température plus basse, M. Le Bon voit dans les phénomènes chimiques de déshydration et d'hydratation la cause du phénomène de phosphorescence. Il fait aussi remarquer que les échantillons sur lesquels il a opéré perdent leur phosphorescence par l'humidité et la reprennent par calcination.

M. Le Bon a également étudié les propriétés optiques du rayonnement, à travers une feuille de papier noir, des corps radioactifs dont il disposait ; il a reconnu que ce rayonnement, ainsi dépouillé des radiations lumineuses, ne peut être polarisé.

Vitesse de propagation des ondes électromagnétiques dans le bitume et le long de fils noyés dans le bitume, par **C. Gutton,** *Comptes rendus*, t. CXXX, p. 894-897.

L'auteur a utilisé dans cette recherche le dispositif qui lui a servi antérieurement, que les ondes électromagnétiques se propagent avec la même vitesse dans l'air et dans un fil entouré d'air [1] : un oscillateur formé de deux fragments de fil de laiton est placé suivant la ligne focale d'un miroir parabolique ; en face de ce miroir en est un second qui concentre les ondes émises par l'oscillateur sur deux fragments de fil ; ces fragments sont reliés à ceux de l'oscillateur par deux conducteurs parallèles repliés en forme de rectangle et croisés de façon que le conducteur partant de la partie supérieure de l'oscillateur aboutisse à la partie inférieure du résonnateur ; sur ces deux conducteurs est un pont mobile derrière lequel est un cohéreur contenu dans une boîte en zinc percée d'une fente. Pour une certaine position du pont, le cohéreur ne fonctionne pas : c'est qu'alors les ondes qui arrivent au pont directement par les conducteurs neutralisent l'effet des ondes qui lui parviennent de l'autre côté après avoir parcouru l'espace compris entre les miroirs et s'être ensuite propagées par les conducteurs ; autrement dit, les ondes ont mis le même temps pour arriver au pont par les deux chemins. Or, on se souvient que l'auteur a trouvé que ces deux chemins sont égaux en longueur.

Dans les nouvelles expériences, un bloc de bitume de 1 mètre de long est interposé entre les deux miroirs et se trouve par suite traversé par un système d'ondes ; sur la ligne suivie par le second système d'ondes, 1 mètre de fil dans l'air est remplacé par une longueur égale de fils noyés dans un bloc de bitume. Si l'on déplace le pont jusqu'à ce que les ondes y arrivent au même instant, on trouve, à moins de 1 centimètre près, la même position que dans les expériences précédentes. Donc, dans le bitume comme dans l'air, les ondes se propagent avec la même vitesse, qu'elles soient ou non guidées par des fils.

Sur la production des fantômes électrostatiques dans les plaques sensibles, par **W. Schaffers.** *Comptes rendus*, t. CXXX, p. 897.

Deux aiguilles reliées à une machine d'induction servent de pôles ; l'aiguille positive est appuyée sur la couche sensible ; la négative doit en être distante d'un demi-millimètre environ [2] ;

[1] *L'Éclairage Électrique*, t. XX, p. 36, 8 juillet 1899.

[2] Si elle vient à toucher la couche, les globules am-

pour faciliter l'action, on peut mettre une lame de métal sous le verre. Dans ces conditions, les lignes de force se dessinent peu à peu par un grand nombre de petits traits noirs qui ressemblent à des flèches allant du pôle positif au pôle négatif et qui se résolvent au microscope en une foule de ramifications. Ces traits ne sont pas dissous dans le bain d'hyposulfite de sodium, ce qui permet de rendre la plaque transparente et de prendre des copies directes de l'image. On n'a besoin d'aucun révélateur, puisque les traits viennent immédiatement en noir et que l'opération se fait en pleine lumière. Avec les plaques du commerce, l'action est lente ; mais on peut la rendre beaucoup plus rapide en diminuant la proportion de gélatine dans la plaque. On réussit mieux encore avec le bromure d'argent finement broyé dans quelques gouttes de gomme arabique, de sucre, d'amidon, d'albumine, etc. Une bonne image de format 13×18 n'exige par cette méthode que cinq à dix minutes. Seulement, ces substances étant solubles, il n'est plus possible de faire subir un traitement ultérieur à la plaque.

D'après les observations de l'auteur, la formation des traits noirs commence par la fusion du bromure et du véhicule inerte, et par la carbonisation partielle de celui-ci. Si l'action du champ se prolonge suffisamment, comme c'est généralement le cas dans le développement des fantômes, le bromure se réduit.

En remplaçant les sels d'argent par l'iodure d'or, on obtient un fantôme d'aspect tout différent. Il est formé de traits bruns continus, qui communiquent entre eux par de nombreuses dérivations. Souvent son développement est presque instantané. Dans l'amidon, il est parfois violet ; c'est sans doute du protoxyde d'or. Celui du glucose, dans certains cas, est évidemment de l'or métallique.

Les sels d'or se prêtent difficilement à la préparation d'une plaque convenable. En outre, il n'est guère possible de fixer les images qu'ils donnent.

Sur l'influence du fer sur la décharge d'un condensateur à travers une bobine de self-induction, par **G.-A. Hemsalech**. *Comptes rendus*, t. CXXX, p. 898-900.

Dans des recherches sur les spectres des étincelles oscillantes, l'auteur a remarqué qu'en introduisant un noyau de fer dans la bobine de self-induction, le spectre était sujet à des changements considérables, surtout en ce qui concernait son éclat. Il semblait donc que le caractère oscillatoire de l'étincelle avait subi des changements, et en effet, avec un miroir tourné à la main, on ne pouvait plus percevoir les oscillations. Lord Rayleigh [1] a montré que lorsque ces oscillations sont aussi rapides, le fer ne peut pas s'aimanter d'une manière simple à cause des courants en sens inverse qui circulent dans la surface extérieure du fer et qu'au lieu d'augmenter la self-induction du circuit, il la diminue.

M. Hemsalech a vérifié expérimentalement que la décharge cesse d'être oscillatoire, comme lorsqu'on insère une résistance d'eau dans le circuit [2].

Il n'est d'ailleurs pas impossible qu'une self-induction à noyau de fer produise le même effet que l'insertion d'une résistance d'eau. En effet,

---

buiants de M. Stéphane Leduc (voir *L'Écl. Élect.*, t. XX, p. 76 et 393, t. XXI, p. 142, 15 juillet, 9 septembre et 28 octobre 1899) arrêtent le développement du fantôme.

(1) Oliver Lodge, *Modern views of Electricity*, p. 423.

(2) Pour démontrer cette influence du fer d'une manière très nette, l'auteur s'est servi du dispositif suivant : Dans le circuit extérieur d'un condensateur étaient insérés une bobine de self-induction, un tube de Geissler et deux électrodes entre lesquelles éclatait l'étincelle.

La bobine de self-induction consiste en huit couches de fil de 150 tours chacune ; sa longueur est de 50 cm et son diamètre intérieur de 5 cm. Le condensateur, qui consiste en deux grandes bouteilles de Leyde, a une surface totale d'environ 1 m²; il est en dérivation sur une bobine de Ruhmkorff ou sur une machine statique de Wimshurst. L'étincelle avait de 1 mm à 3 mm de longueur. En faisant passer le courant la décharge est alors oscillante et dans le tube de Geissler qui s'illumine on ne peut pas distinguer la polarité à cause des inversions rapides. Le renversement du courant dans le primaire de la bobine de Rukmkorff ne change rien à l'aspect de la décharge. Si maintenant on introduit progressivement un noyau de fer dans la bobine de self-induction, les oscillations diminuent d'abord de nombre et finalement sont détruites. Ces transformations sont admirablement signalées par le tube de Geissler. On voit les deux pôles pour ainsi dire se différencier et s'établir définitivement chacun dans une des extrémités du tube, et les stratifications caractéristiques se présentent très nettement.

En renversant le courant dans le primaire de la bobine de Ruhmkorff la polarité dans le tube de Geissler est également renversée.

On obtient la même transformation de la décharge par l'insertion d'une résistance d'eau dans le circuit.

les spectres que l'on obtient avec une self-induction à noyau de fer ressemblent beaucoup à ceux que l'on obtient avec une résistance d'eau, comme il a été observé déjà par Thalén [1]. Il semble donc que l'action du fer est analogue à celle d'une forte résistance.

L'auteur a encore reconnu que l'introduction d'un noyau de cuivre n'a produit aucun changement observable.

Sur les particularités optiques des tubes de Geissler sous l'influence d'un champ magnétique : par **N. Egoroff** et **N. Georgiewsky**. *Comptes rendus*, p. 900-901.

Les recherches publiées récemment par M. Dongier [2] engagent les auteurs à présenter à l'Académie les résultats de leurs expériences de 1897 [3] ainsi que de celles qu'ils ont exécutées dernièrement afin d'éclaircir les particularités des phénomènes remarquées depuis longtemps, mais non publiées jusqu'ici [4].

---

[1] Hasselberg, *Journal de physique*, mars 1900.

[2] *L'Éclairage Électrique*, t. XXII, p. 238 et 474, 10 février et 24 mars 1900.

[3] *L'Éclairage Électrique*, t. XI, p. 518, 3 juin 1897.

[4] Les expériences de 1897 ont offert les résultats suivants :

« I. Dans les tubes de Geissler, hydrogène, hélium, iode placés verticalement dans un plan équatorial entre les pôles d'électroaimant, la polarisation partielle des rayons émis équatorialement ne fut observée que quand le filet lumineux était rejeté par le champ magnétique vers le côté du tube opposé à l'observateur, c'est-à-dire au cas où il existait une correspondance convenable entre la direction du champ et celle de la décharge.

» II. Nous avons observé aussi la polarisation partielle dans la direction axiale, mais tout à fait indépendamment de la direction du champ et de la décharge.

Nous n'avions jamais remarqué ce phénomène ni dans les flammes de Bunsen, ni dans les étincelles d'induction.

» III. Nous n'avons observé aucune polarisation des rayons émis équatorialement par le tube de Geissler (à l'hydrogène), quand il fut disposé dans la direction du champ magnétique.

» IV. La compensation, avec une lame de verre, de la polarisation de la lumière émise dans la direction équatoriale, nous a démontré que la polarisation était du genre de celle que nous pourrions avoir à l'aide de la réflexion par la surface intérieure du tube la plus éloignée de l'observateur. »

Les résultats des dernières expériences peuvent être résumés de la manière suivante :

« V. Le plan de polarisation des rayons pris dans le sens équatorial est horizontal (comme par réflexion), tandis que le plan de polarisation dans la direction axiale du champ magnétique est vertical (comme par réfraction).

» VI. La polarisation partielle n'existe ni dans la direction équatoriale, du côté où le filet lumineux touche la surface intérieure du tube (les rayons traversent le tube sous un angle assez petit ou normalement), ni dans une direction définie et voisine de l'axe du champ (évidemment par suite de combinaisons des rayons polarisés dans des plans perpendiculaires).

» VII. L'influence du champ magnétique sur la lumière émise par les tubes étudiés est secondaire, à notre avis, c'est-à-dire que cette influence se manifeste seulement dans le déplacement du filet lumineux, dans la variation de la résistance électrique et de l'intensité des radiations.

» VIII. Les expériences, sans l'électro-aimant, avec les décharges électriques dans l'air atmosphérique entre les électrodes disposées à l'intérieur d'un tube vertical (2 mm — 8 mm de diamètre intérieur) et qu'on pouvait déplacer facilement dans les différentes parties de la même section horizontale, nous ont offert les phénomènes auxquels on pouvait s'attendre d'avance. En effet, en examinant successivement de tous les côtés la lumière de la décharge électrique à l'aide du polariscope de Savart, quand cette décharge glissait le long de la surface intérieure du tube, nous observions toujours les mêmes phénomènes et leur dissymétrie, sur lesquels insiste M. Dongier dans ses dernières recherches sur la lumière polarisée émise par le tube de Geissler soumis au champ magnétique.

» IX. Une simple expérience avec une petite flamme du gaz mise dans l'intérieur du tube en verre vertical (son diamètre intérieur était 35 mm, l'épaisseur des parois de 8 mm) nous a permis de reproduire les phénomènes décrits, en nous démontrant leur dépendance de la forme, des dimensions du tube et de la position de la source lumineuse à l'intérieur du tube et en expliquant, d'une manière assez concluante, les particularités optiques dans les tubes de Geissler en marche soumis à l'action du champ magnétique. »

Sur l'emploi de nouveaux radio-conducteurs pour la télégraphie sans fil ; par **C. Tissot**, *Comptes rendus*, t. CXXX, p. 902-903.

Dans une récente lettre adressée à la Société de Physique [1], l'auteur faisait connaître l'ensemble des résultats qu'il obtint lors de ses essais de communication entre Ouessant et la côte ; dans sa note à l'Académie il indique un mode de réglage très simple de la sensibilité des radio-conducteurs à limaille magnétique (acier de différentes variétés, nickel, cobalt) qu'il employait.

Ce mode de réglage consiste à placer le radio-conducteur dans un champ magnétique dont les lignes de force sont parallèles à l'axe du tube.

---

[1] *Écl. Élect.*, t. XXII, p. 80, 13 janvier 1900.

Le procédé employé pour créer le champ n'importe pas. Ainsi on peut constituer les électrodes du tube par des tiges d'acier légèrement aimantées à l'avance, ou bien prendre des tiges de fer doux placées dans des bobines, ou encore prendre des électrodes non magnétiques et mettre le tube tout entier dans le champ d'un électro-aimant de Ruhmkorff faiblement excité. Pour la commodité du réglage il est préférable de prendre des radio-conducteurs à électrodes de fer doux ou de nickel et d'aimanter celles-ci au moyen d'un petit aimant en fer à cheval disposé au-dessus du tube et dont on peut faire varier la distance à celui-ci.

On augmente ainsi considérablement la sensibilité des radio-conducteurs et il a été possible de recevoir avec ces radio-conducteurs des signaux du *Masséna* à une distance de 33 km avec des antennes de 30 m seulement. On a aussi une plus grande constance de la sensibilité par suite de l'orientation des particules métalliques par le champ.

Certains radio-conducteurs peuvent, sous l'action du champ, avoir une stabilité assez grande pour permettre la réception nette des signaux, et être très instables quand le champ est supprimé, la moindre trépidation suffisant alors pour ramener l'appareil à sa résistance primitive. Avec ces instruments on peut supprimer le frappeur et le remplacer par un électro-aimant auxiliaire commandé par un relais.

Sur l'auto-décohération du charbon, et sur l'application de cette découverte aux appareils téléphoniques pour recevoir les signaux de la télégraphie sans fils, par **Thomas Tommasina**. *Comptes rendus*, t. CXXX, p. 904-905.

Dans une note antérieure ([1]) l'auteur a décrit un cohéreur très sensible à charbon pouvant perdre par la seule interruption du courant, sans aucun choc, la conductibilité acquise par l'action des ondes sur son circuit ; c'était la production de chaînes de grains de charbon qui l'avait conduit à ce résultat.

Des expériences nouvelles lui ont permis de constater l'auto-décohération d'une certaine poudre de charbon, c'est-à-dire la disparition immédiate de l'adhérence des grains après l'action de chaque onde hertzienne, sans l'intervention d'aucune action, même électrique, comme était celle d'interrompre le courant ([1]).

([1]) *Comptes rendus*, t. CXXVIII, p. 666, 13 mars 1899 ; voir l'article de M. Lamotte, *L'Écl. Élect.*, t. XXII, p. 483.

([1]) « La poudre de charbon dont je me suis servi est celle des microphones des stations téléphoniques suisses. J'en avais introduit une très petite pincée entre deux charbons cylindriques de 5 mm de diamètre, qui entraient à frottement doux dans un tube de verre. On pouvait ainsi aisément serrer plus ou moins la poudre entre les charbons dont les extrémités avaient été coupées et polies.

» Après de nombreux essais j'ai pu obtenir la décohération automatique, mais très irrégulièrement, car bien souvent il fallait recourir au choc ou à l'interruption du courant.

» Présumant que l'inertie du relais pouvait être la cause de cette marche irrégulière, et, d'autre part, pensant que si j'arrivais à obtenir une décohération automatique, le relais et la deuxième batterie devenaient absolument inutiles, je les ai ôtés. A leur place j'ai simplement intercalé dans le circuit du cohéreur un récepteur téléphonique.

» Le résultat de ce changement fut très bon, mais il y avait encore des cohérations durant quelques secondes ou fractions de secondes qui disparaissaient toujours sans choc.

» J'ai eu alors l'idée de construire un cohéreur de forme spéciale, pouvant être placé dans l'étui même du téléphone. J'ai découpé dans une feuille d'ébonite de 2,5 mm d'épaisseur, un rectangle de 12 mm sur 15 mm, j'ai percé un trou central bien net de 2 mm de diamètre, et ai fait à la lime une entaille au milieu de chaque face de l'ébonite parallèlement au plus long côté du rectangle. Un fil de maillechort de 2 mm d'épaisseur, recouvert de soie, a été passé dans l'ouverture et dans les entailles et serré en boucle ; un second fil identique a été fixé de même en face du premier. Les deux fils avaient été mis à nu et polis préalablement, mais seulement dans la partie passant dans le trou. Celui-ci fut fermé d'un côté par une lamelle de mica bien mastiquée sur l'ébonite, et ensuite rempli presque entièrement par de la poudre de charbon bien desséchée. Une deuxième lame de mica fut appliquée de même sur l'autre face de l'appareil, formant ainsi un cohéreur dont les électrodes étaient constituées simplement par les deux fils de maillechort en contact avec la poudre à une distance de 1 mm environ l'un de l'autre.

» J'ai dévissé le couvercle du récepteur téléphonique, coupé le fil de l'électro-aimant intérieur et intercalé le cohéreur, le plaçant de façon qu'il ne touchât pas la lame vibrante.

» Lors des essais il a marché parfaitement avec un seul élément de pile sèche et il s'est trouvé d'une sensibilité égale sinon supérieure aux meilleurs récepteurs à limailles. La cavité du cohéreur étant, comme je l'ai dit, presque remplie de poudre de charbon, ce récepteur

La poudre de charbon remplaçant la limaille métallique, outre l'avantage incontestable de l'auto-décohération, donne au cohéreur une inaltérabilité qui lui assure un fonctionnement régulier, même avec un courant assez énergique, comme celui de trois accumulateurs en tension. L'auteur espère pouvoir ainsi faire enregistrer les signaux par un appareil Morse inséré dans le circuit même du cohéreur, procédé qui résoudrait le problème de la transmission rapide des signaux par ondes hertziennes.

En plus de cette application d'une utilité pratique indéniable, il pense que l'auto-décohération du charbon confirme les conclusions sur le phénomène des cohéreurs, qu'il a communiquées l'an dernier à l'Académie [1].

Sur un nouvel élément radioactif : l'actinium, par **A. Debierne**. *Comptes rendus*, t. CXXX, p. 906-908.

L'auteur indique le procédé chimique qui lui a permis de concentrer la matière radioactive qu'il a découverte dans les résidus de traitement de la perchbleude [2] et qui, d'après le procédé de traitement, ne peut contenir ni du radium, ni du polonium. M. Debierne pense qu'elle contient un nouvel élément radioactif qu'il appelle *actinium*.

On peut produire avec les rayons émis par cette matière les mêmes phénomènes (fluorescence, impression photographique, tonisation des gaz), qu'avec les rayons émis par le radium ou le polonium. Une partie de ces rayons sont deviés par le champ magnétique et le sens de la déviation est le même qu'avec les rayons du radium ou les rayons cathodiques, c'est-à-dire correspondant à une charge négative des rayons. Il provoque bien faiblement la radioactivité induite permanente, découverte par M. et Mme Curie, sur les corps placés au contact ou dans le voisinage.

L'actinium paraissant être un élément voisin du thorium, l'auteur pense que la propriété radioactive constatée dans les composés du thorium n'appartient peut-être pas au thorium mais à une substance étrangère. De récentes expériences de M. Rutherford conduisent aussi à cette opinion. Aussi M. Debierne se propose-t-il de rechercher s'il est possible de priver les composés du thorium de la propriété radioactive et si l'on peut en extraire une substance identique à l'actinium.

agit également bien dans toutes les positions. On entend un choc très net à chacune des étincelles de l'oscillateur, quelle que soit d'ailleurs leur rapidité, en appliquant l'oreille au téléphone ainsi modifié.

(1) *Comptes rendus* du 3 juillet 1899. *L'Écl. Élect.*, t. XX, p. 75.

(2) *L'Écl. Élect.*, t. XXI, p. 199, 4 novembre 1899.

SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ÉLECTRICIENS

Séance du Mercredi 4 Avril 1900

La réunion mensuelle à été précédée de l'Assemblée générale annuelle. Le bilan, les rapports de la commission des comptes et du secrétaire général montrent que la situation de la Société et de ses différents services, le laboratoire et l'école sont des plus prospères. Les différents services ont laissé un solde créditeur. Les essais du laboratoire, dont quelques-uns ont été demandés par l'étranger, ont donné lieu à des recettes atteignant presque 25 000 francs. Le nombre des élèves de l'école, qui était de 12 à l'origine, est de 84 cette année ; tous les élèves ont obtenu, dès leur sortie de l'école, des situations avantageuses dans l'industrie où ils rendent des services hautement appréciés.

Le président de la Société pour l'exercice 1900-1901 sera M. Mascart, pour l'exercice 1901-1902, M. Hillairet.

La partie technique de la réunion comportait une étude de M. Villard sur les différents phénomènes connus sous le nom de ***rayons cathodiques et rayons Roentgen,*** leur production, leurs propriétés et leur nature probable. Dans cette communication, fort intéressante, M. Villard, après avoir fait connaître les principales découvertes faites dans cet ordre d'idées dans ces dernières années, a exposé des idées très suggestives sur la nature des rayons cathodiques de Roentgen.

G. P.

Le Gérant : C. NAUD.

Tome XXIII. Samedi 21 Avril 1900. 7e Année. — N° 16

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

FREINS ÉLECTROMAGNÉTIQUES

POUR TRAMWAYS ET CHEMINS DE FER

L'extraordinaire développement de la locomotion automobile et de la traction mécanique sur les voies ferrées, ont appelé l'attention sur la nécessité d'un freinage beaucoup plus parfait que celui employé jusqu'à ces dernières années. Les types de freins rencontrés récemment encore, étaient peu nombreux, et le frein mécanique y tenait une large place. Le service du contrôle, en France comme en Allemagne, est très rigoriste sur la question. La nécessité de réaliser au moins sur les voies suburbaines, des vitesses plus considérables, la complication des réseaux ferrés des grandes capitales, la nécessité de n'entraver que le moins possible le trafic et la circulation, enfin l'indispensable sécurité de la rue nous donnent les raisons des tentatives faites en vue de réaliser des freins de plus en plus robustes et de plus en plus puissants.

On connait en France les exigences du contrôle : chaque voiture automotrice doit comporter au moins deux freins, l'un manœuvré par la main du machiniste, l'autre qui ne nécessite la main de l'homme que pour sa mise en jeu, mais chez qui le serrage des sabots s'effectue par d'autres agents (air comprimé, force vive du train). Ce dernier frein est en général transmissible à la voiture d'attelage. Certaines voitures électriques françaises comportent même trois freins, le dernier constitué par les combinaisons bien connues effectuées avec les moteurs de la voiture.

En Allemagne, les règlements ordonnent en général l'emploi de plus de deux freins : dans les pentes de 1/10 deux freins suffisent d'habitude, mais en réalité, dans certaines circonstances climatériques ou autres, un troisième frein est recommandé, et dans quelques cas absolument nécessaire. Pour les voitures isolées, on doit prendre deux freins,

dont l'un à main (frein à manivelle, à levier, à poids, etc.) manœuvré au moyen de chaînes, de tiges filetées, etc. ; le second est un frein mécanique (magnétique, électrique, à air comprimé).

Ces règles sont cependant souvent modifiées par les municipalités. Dans le cas de voitures d'attelage, en Allemagne notamment, les règlements sont très durs. Il est en général recommandé d'avoir un frein à transmission de l'automotrice à l'attelage : de ce type, avec les freins à air comprimé, sont les freins magnétiques qui feront spécialement l'objet de cette étude.

On connaît les avantages du freinage purement électrique, c'est-à-dire de celui qui consiste à effectuer diverses combinaisons avec les moteurs, coupés du réseau et travaillant comme générateurs. Dans les tramways de montagne, il est nécessaire d'employer en général un troisième frein de fonctionnement plus énergique même que les précédents. C'est de préférence un frein agissant sur le rail, le saisissant entre de puissantes mâchoires, ou développant un frottement considérable sur la surface utile du rail (frein à patin).

Abstraction faite des freinages magnétique et électrique, on peut classer les différents freins employés en traction électrique suivant leur mode d'action [1] :

I. Freins agissant sur le bandage des roues, au moyen de transmissions diverses (leviers coudés, chaînes, etc.) ;

II. Freins à patin qui agissent sur la surface du rail porteur, et sont commandés du reste d'une manière quelconque ;

III. Freins de pente, ou de sûreté, dans lesquels un bloc d'arrêt est jeté devant la roue en mouvement. Dans un faible espace, si le frein fonctionne bien, le système constitué par le bloc, la roue et le rail est le siège d'une série d'actions intérieures mutuelles qui amènent l'immobilité.

On connaît les dispositions spéciales qu'entraînent sous le truck de la voiture les freins de la classe I. Certains freinages défectueux proviennent d'une flexion du châssis du truck, ce qui empêche une action complète des sabots.

Pour les freins de la classe II, leur action n'est complète que si la voiture cesse pour ainsi dire de prendre contact avec les rails par ses roues, et si tout son poids porte sur les patins ou les mâchoires qui la fixent aux rails. Certains types de ces freins prévoient un coin s'enfonçant dans l'ornière du rail : les efforts à déployer dans ce cas seront notablement plus considérables, à côté d'inconvénients trop évidents pour que nous nous y arrêtions. Il y a cependant un avantage indéniable à employer de tels freins : c'est la diminution très sensible de l'usure des bandages, et le temps bien plus long que mettent les roues à prendre la forme polygonale qui entraîne leur remplacement.

Dans les chemins de fer de montagne, on emploie aussi un frein à coin, en forme d'enclume renversée, agissant sur la tête du rail par la friction qu'y développent les joues de ce coin qui pénètre dans l'ornière.

Les recherches faites avec les freins électromagnétiques sont entrées dans une phase bien meilleure. Cette question a passionné les inventeurs : nous ne ferons que rappeler dans cet ordre d'idées les principaux moyens employés ou proposés pour obtenir l'arrêt de la voiture, nous dirons ensuite un mot des freins de la classe III, et nous passerons à l'examen des combinaisons des freins de cette classe avec les freins magnétiques.

---

[1] Nous empruntons une grande partie des éléments constituant cette étude au livre de M. Max Schiemann *Bau und Betrieb Elektrischer Bahnen* et à la communication faite par cet ingénieur à l'Association électrotechnique de Berlin, le 30 mai 1899, et publiée par la *Elektrotechnische Zeitschrift*, 27 juillet 1899.

A. Freins magnétiques a disques. — Ces freins agissent par le développement de courants de Foucault dans un disque de métal magnétique, qui se déplace devant une série de pôles d'électro-aimants. Le disque est chaussé sur un essieu de la voiture. En face se trouve la couronne constituée par les bobines à noyau dont nous venons de parler, à enroulements alternés et qui sont excitées par un courant continu. Le champ magnétique produit, en un même point du disque, doit être considéré comme changeant périodiquement de force et de sens, quand le disque est en mouvement. Par suite, le développement de courants de Foucault dans le disque provoque une inhibition au mouvement des masses métalliques. On peut du reste laisser glisser les unes sur les autres les surfaces en regard, constituées par les pôles magnétiques et le disque de fer, mais il faut alors prévoir un graissage spécial. Le courant excitateur provient des moteurs de la voiture transformés en générateurs, et ce courant peut, au moyen d'un jeu de résistances appropriées, être réglé de manière à donner des puissances de freinage différentes. Le disque du frein consiste essentiellement en un plateau de fer bien dressé dont le diamètre est de 20 cm environ plus faible que celui de la roue porteuse : il est chaussé solidement sur l'essieu de la voiture de manière à rendre impossible toute rotation relative ou tout déplacement axial par rapport à cet axe. Quant à la couronne d'électro-aimants, elle peut être rapprochée du disque, pour diminuer le plus possible la résistance magnétique de l'air compris entre les pôles et le disque : le freinage terminé, un ressort antagoniste ramène la couronne à sa position primitive. Le réglage du frein à disque est extrêmement difficile : aussi sur certaines lignes a-t-on simplement supprimé la pièce qui assure ce réglage, d'où les nombreux cisaillements de boulons constatés avec ces freins imparfaits.

Il faut de même remarquer que ce type de frein exige une aimantation élevée. Au moment où les pôles viennent se coller au disque de fer, on perçoit une secousse assez vive dans la voiture : le circuit magnétique éprouve un changement brusque dans sa constitution. Il peut même résulter de cette immobilisation subite des désordres mécaniques graves, tant dans la couronne de pôles que dans le disque lui-même, la première travaillant alors à la torsion sur ses attaches. La nécessité d'un graissage spécial des surfaces en travail n'est pas un des moindres inconvénients du système.

Si les essieux d'une même voiture comportent chacun un moteur, il convient d'installer un disque de frein auprès de chaque moteur. Ce n'est cependant que dans des cas très rares que l'on dispose sous le truck d'une place suffisante. On peut donc, la plupart du temps, consacrer un essieu au service du moteur, et l'autre à celui du frein magnétique. Dans le cas où l'exploitation de la ligne comporte des voitures d'attelage, on peut aussi garnir de ces freins les essieux de ces dernières voitures.

Ce mode d'arrêt des voitures a plusieurs inconvénients graves : c'est d'abord de ne pas répartir conformément l'effort de freinage tout au moins dans le cas de la rédaction. En effet, les essieux pourvus de moteurs sont freinés beaucoup plus énergiquement que ceux garnis de disques. Pour un même diamètre de l'armature du moteur et du disque, la vitesse linéaire de points correspondants est cinq ou six fois plus grande dans la première que pour le second. Les enroulements du frein magnétique servent de résistance de freinage au moteur, et le résultat final de cette modification est un plus grand échauffement encore des enroulements de l'armature.

Plus est grand dans une voiture le rapport du nombre des essieux pourvus de freins à disque, à celui des essieux reliés aux moteurs, plus est énergique l'action de freinage pour un même courant excitateur. En outre de l'excitation par le courant des moteurs, on peut prévoir aussi l'alimentation des bobines par le réseau, ou par une petite batterie locale,

ou même par une fraction de la batterie de service, dans le cas de la traction par accumulateurs. Ce mode de freinage peut facilement s'appliquer aux voitures utilisant ce dernier mode de traction. On effectue aisément les combinaisons d'un commutateur spécial destiné à ces freins, avec les régulateurs de marche ordinaires. C'est ce que nous montre le schéma

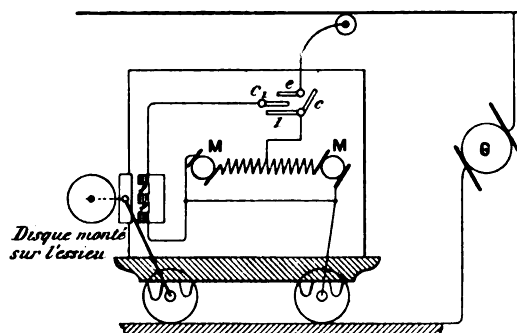


Fig. 1.

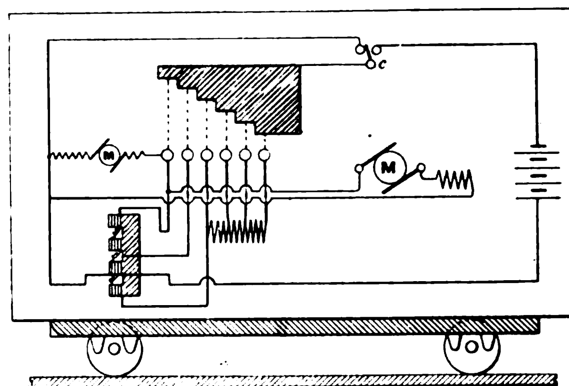


Fig. 2.

(fig. 1), dans lequel on peut remplacer la source d'énergie des accumulateurs, par le courant du réseau, arrivant par fil aérien et partant par les rails. En marche normale, le premier commutateur c est fermé, et le second c_1, sur la plot l. Si l'on veut arrêter la voiture, il suffit d'ouvrir c : les moteurs sont alors en court-circuit ou travaillent sur des résistances appropriées Suivant que le commutateur c_1 est fermé sur la position e ou la position l les solénoïdes sont alimentés par le courant du réseau ou par celui des moteurs. Nous n'insisterons pas sur les très nombreuses combinaisons qu'on peut faire du frein à disque avec les ordinaires régulateurs de marche. Le schéma suivant (fig. 2) montre une combinaison des résistances de freinage avec celles constituées par les bobines des solénoïdes. En outre des régulateurs de marche ordinaires, on prévoit un commutateur c, qui permet d'alimenter les résistances soit par la source extérieure du réseau, soit par les moteurs fonctionnant comme générateurs.

Il faut encore signaler cette particularité dans le frein magnétique (propriété qu'il partage du reste avec les freins électriques, et tous ceux fondés sur l'utilisation de la force vive du véhicule) que l'énergie du frein est essentiellement subordonnée à la vitesse du moteur, au moins dans le cas où l'en emploie comme courant d'excitation celui des moteurs, coupés du réseau, et fonctionnant comme générateurs. Pour que le frein ait une efficacité réelle, il faut donc que la vitesse soit supérieure à une certaine limite. On admet d'habitude que les frottements intérieurs des voitures (frottement des engrenages, frottement de roulement, résistance de l'air) sont assez forts pour achever d'amener la voiture au repos complet, quand le frein magnétique n'a plus d'action. L'expérience et le calcul montrent qu'il en est souvent autrement : dans une pente de 12 p. 100, par exemple, une voiture continue à rouler. Ce n'est guère qu'en palier ou qu'en rampe, qu'on peut compter sur cet effet. On conçoit donc l'insécurité absolue d'un tel frein qui, employé seul, ne permet pas l'arrêt complet. Une combinaison de ces freins avec les freins à main a été mise en essai, et se construit assez couramment.

On comprend que les effets obtenus soient bien meilleurs quand l'alimentation se fait par le réseau, bien qu'il en résulte une première mise de fonds plus coûteuse, les résistances devant être calculées plus fortes. Dans ce dernier cas, en effet, le courant d'excitation des

bobines de frein s'établit sous une différence de potentiel sensiblement constante, qui peut être celle du réseau, dans le cas où l'on ne met pas en circuit des résistances supplémentaires; au contraire, la *tension* sous laquelle s'établit le courant des moteurs fonctionnant comme générateurs, baisse sans cesse : les résistances n'ont donc à supporter qu'un coup de fouet momentané; elles peuvent être plus faibles.

B. Freins a adhérence magnétique fixant la roue sur le rail. — Les freins précédents ont pour effet de développer dans certaines parties de la voiture un frottement en partie magnétique, en partie mécanique, mais l'adhérence de la roue sur le rail n'est pas modifiée. Le frein précédent, même perfectionné, n'a pas la portée générale de celui qui consisterait au contraire à accroître l'adhérence de la roue avec le rail. Ce dernier dispositif est évidemment bien supérieur. Il permet de supprimer, au moyen de combinaisons appropriées avec les régulateurs de marche, le patinage des roues dans les démarrages pénibles. En outre, on peut, avec ce frein, gravir des rampes aussi accentuées que celles qui nécessitent l'emploi de funiculaire ou de crémaillère.

Examinons par exemple le cas d'une automotrice : soit p son poids en tonnes. Voyons quelle influence exerce une pression magnétique de la roue au rail, sur la pente maxima que peut gravir une voiture.

Soient f le coefficient de traction ; $\pm i$ la rampe ou la pente suivant le signe ; φ le coefficient d'adhérence. Dans le cas d'une automotrice $T = p[f + i]$ représente l'effort de traction, $A = p\varphi$ représente l'effort d'adhérence. On sait que l'on doit avoir $A \geqq T$.

Supposons exercée une pression magnétique entre le rail et la roue, cette pression équivalent à un certain poids Δp. L'effort d'adhérence sera alors

$$A' = (p + \Delta p)\varphi.$$

et l'effort de traction

$$T' = p(f + i) + \Delta pf \quad \text{avec} \quad (A' \geqq T').$$

On voit que dans le premier cas (celui où l'on n'exerce pas de pression magnétique) la rampe maxima i_0 que peut gravir la voiture est donnée par

$$(f + i_0) \leqq \varphi.$$

Et dans le second cas, où intervient la pression magnétique, par

$$(f + i'_0) \leqq (p + \Delta p)\varphi - \Delta pf.$$

Avec un effort de pression magnétique juste égale au poids p ($\Delta p = p$) on voit que l'on a

$$i_0 = \varphi - f. \qquad i'_0 = (2\varphi - 2f).$$

La rampe maxima aurait donc une valeur double dans le second cas de celle qu'elle aurait dans le premier.

Le principe du développement de l'adhérence magnétique consiste toujours à créer un circuit magnétique dans lequel figurent les roues, les portions de rail comprises entre les roues de devant et celles de derrière, enfin une pièce de fer fermant ce circuit, entourée des bobines excitatrices, et portée par la voiture. On a proposé, pour compléter le circuit, d'utiliser les parties longitudinales du châssis, ou des longueurs pourvues d'un enroulement destiné à provoquer une aimantation intense. Il est à peine besoin d'ajouter que les roues montées sur un même essieu doivent le plus possible être de même polarité, et qu'en tout cas, le châssis métallique de la voiture ne doit pas constituer un circuit fermé.

On peut prévoir de même une combinaison de ce frein à adhérence magnétique avec les freins à sabots ; le circuit se fermant par ces sabots sur les roues, et de là par les rails, d'un essieu à l'autre. Ces sabots sont du reste, en temps normal, maintenus à une certaine distance des roues par des ressorts antagonistes. On peut naturellement réaliser toutes les combinaisons dont nous avons déjà parlé, entre ces freins à adhérence et les commutateurs et régulateurs de marche. Il suffit, dans ce que nous avons dit pour les freins à disque, de remplacer l'enroulement des pôles de la couronne par les bobines enfilées sur le longeron, ou quelque autre pièce de la voiture. En plus des manœuvres prévues pour le freinage, on doit pouvoir envoyer le courant dans les solénoïdes de manière à accroître l'adhérence et à permettre le démarrage, dans le cas où les roues patineraient.

C. Combinaison avec le frein a bloc du frein électromagnétique agissant par adhérence sur les rails. — Comme nous l'avons vu, les freins purement électromagnétiques

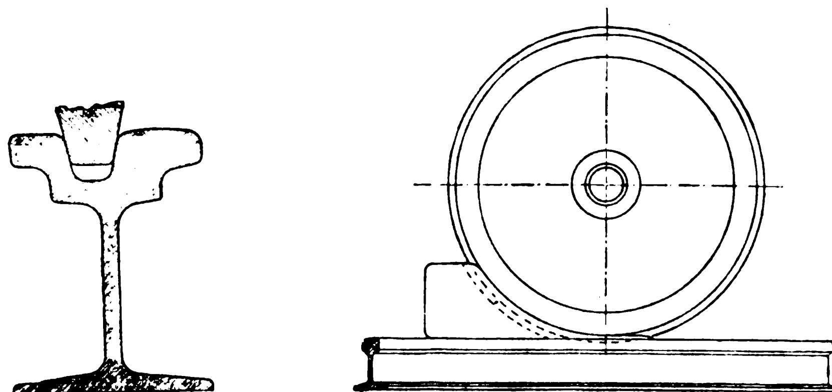


Fig. 3 et 4. — Frein à bloc.

doivent être considérés comme dangereux quand ils sont employés seuls. Il semble que des variations importantes de résistance magnétique dans les diverses parties du circuit puissent amener des mécomptes. On peut adjoindre, soit aux freins à disque, soit aux freins à adhérence, des freins spéciaux, dont nous avons déjà parlé au début de cette étude et dont la manœuvre consiste à projeter un bloc d'arrêt au devant de la roue. Le bloc se termine généralement par un bec effilé, qui vient en prise sous la roue (fig. 3 et 4). Il est à peine besoin de dire un mot des qualités presque irréalisables qu'on demande au métal constituant le bec du frein : son usure et sa détérioration sont rapides. Aussi n'est-ce qu'un frein de sûreté, et non de service. Il faut encore remarquer que, d'un côté, la roue doit porter encore sur le rail, de l'autre, sur le bec ; s'il arrivait que la voiture perdit contact avec l'ornière du rail, il pourrait s'en suivre un glissement désastreux du bloc, et par suite de la voiture sur les rails.

On peut garder les avantages du frein à bloc, sa sûreté et sa puissance en supprimant les inconvénients, tels que l'usure rapide du bec du bloc. On peut le combiner avec le frein électromagnétique de la manière suivante : le nouveau frein agit à la fois sur les rails par adhérence et sur les roues à la manière des sabots. On peut l'établir sur les voitures d'attelage, et son action est simultanée sur les deux voitures. Son emploi est plus général que celui des freins magnétiques à disques montés sur les essieux : il est particulièrement précieux dans les fortes rampes et même en palier quand le rail est gras. Son emploi est tout indiqué quand à chaque essieu correspond un moteur. L'action du frein est tout à fait indépendante de l'allure du véhicule.

La combinaison des deux freins peut être réalisée par le dispositif suivant. Une pièce de forme, de métal magnétique, peut, au moyen d'une vis de fer, être maintenue dans la direction de l'axe d'un système de bobines assemblées, qu'elle recouvre extérieurement. Cette pièce de forme joue donc à la fois le rôle d'écran magnétique et de protection méca-

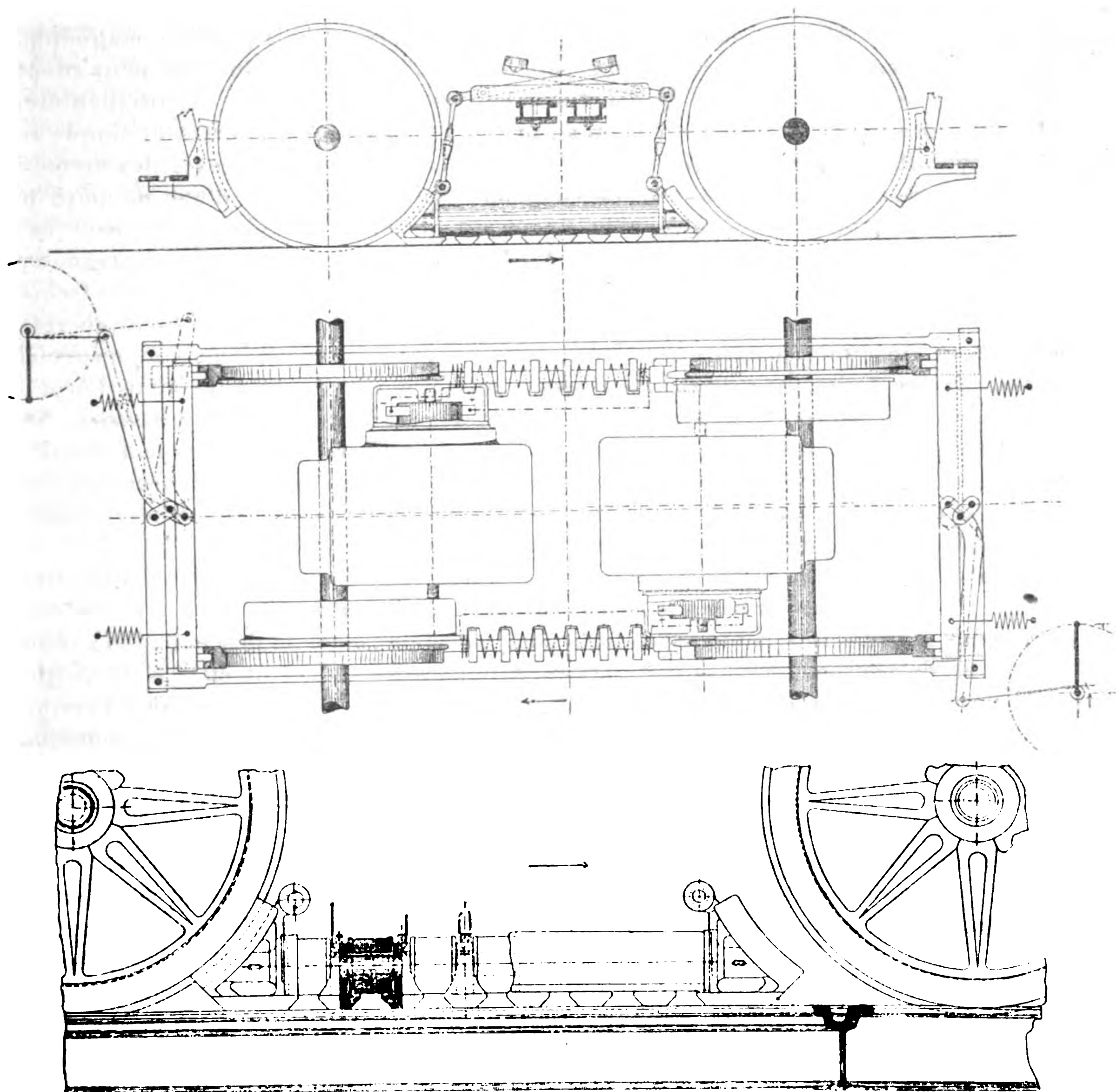


Fig. 5, 6 et 7. — Freins à bloc et électromagnétiques combinés.

nique. Chacune de ces bobines présente deux pôles, et les enroulements sont tels que les champs produits en passant d'une bobine à l'autre sont alternés. Des courants de Foucault se développent dans les rails : il en résulte une aimantation considérable et des actions mutuelles énergiques entre les rails et les pôles magnétiques situés dans leur voisinage immédiat (fig. 5, 6 et 7).

Cette suite de pôles doit cependant être prise telle qu'elle permette la friction de ceux-ci

sur les rails, dans des courbes comme celles rencontrées dans les villes, c'est-à-dire de 12,5 m de rayon. Il suffit, dans les tramways urbains de prendre la surface du pôle d'aimant de même largeur que la surface utile du rail, c'est-à-dire du rail porteur, du rail guide et de l'ornière de ce rail. Le frottement développé par le frein a donc une double source : frottement de la roue contre le bloc d'arrêt, frottement des pôles contre les rails. L'un et l'autre possèdent du reste une valeur très fortement accrue par la pression magnétique.

Quant à la suspension des freins, elle peut être élastique ou rigide. On peut adopter l'un ou l'autre mode. Il convient de soustraire le plus possible le frein aux oscillations de la caisse. Aussi peut-on suspendre le frein au truck (ce qui est particulièrement simple avec les tramways urbains, dont le truck est aménagé spécialement pour recevoir les moteurs), ou encore sur les boites des essieux. La commande peut se réaliser d'une manière très pratique, avec un levier et un contrepoids. Les avantages du frein à bloc sont conservés en ce qui concerne la dernière phase de l'arrêt. De même pour ceux du frein magnétique alimenté par le courant des moteurs, coupés du réseau, et chez lequel l'action de freinage est d'autant plus énergique que la vitesse de la voiture est plus élevée. Quant au retrait d'un frein usé, c'est une opération simple, et qui ne nécessite pas les dispositions spéciales imposées par les freins magnétiques à disques chaussés sur l'essieu. Il suffit d'ôter les deux goujons des tirants de la suspension, et de dégager les contacts à ressort. Nous n'insisterons pas sur les avantages présentés par ce nouveau frein au point de vue du meilleur graissage des organes de roulement. Les semelles des pôles et les blocs de freinage constituent un matériel très simple, facilement remplaçable, et qui peut même servir jusqu'à usure complète, en le rafraichissant en temps utile.

On peut du reste disposer sur une même voiture, par raison de sécurité, deux freins excités par le courant des moteurs fonctionnant comme générateurs.

Des essais faits sur une pente assez forte pour entraîner seule la descente de la voiture d'attelage et de l'automotrice, ont donné de bons résultats. L'arrêt était bien meilleur qu'avec les freins à disque, et la voiture d'attelage s'arrêtait simultanément avec l'automotrice. Ces essais ont été faits en grand sur les lignes de la « Deutschen Strassenbahnen Gesellschaft. » Ils furent très concluants.

Sur une pente de 1/21, il ne fut pas nécessaire de recourir au troisième frein alimenté par le réseau. Ces freins électromagnétiques se trouvent soit en exploitation, soit en essais à longue durée, sur les tramways de Hambourg, de Cologne et de Côme.

Avant de terminer cette courte étude, nous voudrions encore citer l'avis d'électrotechniciens éminents sur ces freins. La grande difficulté rencontrée dans leur emploi paraît consister dans l'isolement des bobines qui doivent résister à la neige, à la boue des villes et à toutes les intempéries. Des expériences de longue durée ont montré qu'il n'était pas impossible de réaliser cet isolement. Le truck de la voiture peut être allégé : il est en tout cas beaucoup moins encombré qu'avec les autres freins : une flexion du châssis n'a pas avec eux les effets désastreux que l'on sait sur le freinage. On peut aussi remarquer que les oscillations de la voiture, au dernier temps de l'arrêt, si sensibles avec certains freins, sont ici très atténuées. Une roue, arrêtée par le frein à bloc et le frein à disque, peut encore, entre le disque monté sur l'essieu, et la périphérie de la roue en prise avec le rail, donner naissance à des vibrations qui se transmettent à la voiture sous forme de secousse ou d'oscillations à période plus longue. Si au contraire, comme dans le frein précédent, la roue est saisie tout près du rail, par la portion du frein jouant le rôle de bloc d'arrêt, les oscillations peuvent être considérées comme totalement supprimées : l'arrêt est très doux, et en même temps très net.

Un calcul exact des effets de ce nouveau frein, calcul entièrement basé sur des considérations d'ordre magnétique et mécanique, serait assez spécieux, la plupart des éléments du problème, comme nous allons le voir, étant très difficiles à déterminer, et variant considérablement avec la vitesse.

Dans la même séance du 30 mai 1899, de l'Association Electrotechnique, où fut prononcée la communication de l'ingénieur Max Schiemann sur les freins électromagnétiques, les avis sur la valeur des freins agissant par friction sur les rails, furent assez partagés. Leur efficacité aux grandes vitesses, et notamment dans leur application aux chemins de fer de montagne, fut très discutée. Un certain nombre de catastrophes se sont produites, qui leur ont donné une réputation fâcheuse. De plus un certain nombre d'appareils de freinage, fondés sur l'utilisation de la vitesse de la voiture, ou de dispositifs de régulation de cette vitesse même, ont plus ou moins échoué. La raison en est, semble-t-il, que lorsque la vitesse dépasse une certaine limite, dépendant de la construction de la voiture, l'effet des freins devient presque illusoire : le frottement change de nature. La puissance du frein pourrait être augmentée dans de notables proportions sans que son action fût pour cela beaucoup plus sensible. Cette inefficacité des freins les rend surtout préjudiciables dans la pratique des chemins de fer, et même de ceux de montagne, où par une fatalité quelconque, la vitesse peut être appelée à dépasser cette valeur. On a souvent admis que, même dans le cas d'un accident arrivé aux freins spéciaux dont nous venons de parler, il est encore possible au machiniste d'arrêter un convoi avec le frein à main. D'après le Dr Von Hefner, ce serait bien souvent impossible en montagne : dans la catastrophe de l'ancien chemin de fer du Mont-Cenis, le train s'emballa sous la main du machiniste, glissa sur les rails, et la machine, à la sortie du tunnel, fut précipitée dans un ravin. On reconnut après l'accident que le frein latéral avait été attiré par le rail central. On put remarquer aussi que les blocs de frein avaient été brûlés, dans l'accident du chemin de fer d'Arth au Righi. De même dans celui survenu avec le chemin de fer en colimaçon de Wadenswiel-Einsiedler, les blocs de frein brûlèrent encore. Dans les débats qu'entraîna l'affaire portée devant les tribunaux, on ne put élucider le point de savoir pourquoi, les freins à blocs, qui avaient fonctionné normalement, n'avaient pu retenir le train. Il semble que doivent intervenir dans ces accidents, les variations avec la vitesse du coefficient de frottement. On connaît les expériences de S. Henry Tyler : elles ont montré la diminution très nette du coefficient de frottement avec la vitesse. Dans les lignes de chemin de fer, comme le rappelle M. Klose, il peut tomber au tiers de sa vitesse habituelle, pour les vitesses élevées. Il faut, du reste, remarquer que les grandeurs relatives des coefficients de frottement et de roulement varient elles-mêmes beaucoup suivant les cas. Pour une voiture ordinaire, le seul frottement à considérer est celui de roulement. Dans le cas où elle est pourvue d'un frein à patin, il y a alors à distinguer un frottement de roulement et un frottement de glissement. Celui-ci diminue aussi avec la vitesse, mais beaucoup moins vite que celui-là.

Telle est la raison pour laquelle les compagnies de chemins de fer sont si peu disposées à employer le frein à patin, pour les vitesses élevées tout au moins.

La diminution du coefficient de frottement avec la vitesse semble se faire suivant une hyperbole : en réalité, les essais tentés dans cet ordre d'idées sont peu nombreux. Ce ne serait que pour les vitesses de 60, 70, 80 km que l'on commencerait à observer une diminution sensible du coefficient de frottement ; l'effet est très net pour une vitesse de 100 km, qui peut, du reste, être dépassée par les chemins de fer à crémaillère. On a constaté, sur les chemins de fer de l'État saxon, en pente de 1/40, entre Freiberg et Dresde, une diminu-

***

tion du coefficient de frottement avec la vitesse. On peut calculer ce coefficient d'après la formule de Franke, suivant laquelle le frottement serait proportionnel à une puissance v^e d'une constante dépendant de la construction de la voiture. Cette vitesse critique au delà de laquelle le train cesserait d'obéir à l'action de ses freins serait d'environ 90 km.

Il faut donc à tout prix augmenter l'adhérence sur les rails, des roues, ou plus généralement de la voiture elle-même. Un bon sablage est certainement un palliatif, mais il semble que la solution doive consister surtout dans la succion mutuelle exercée entre les rails et les parties convenables de la voiture, cet effet exerçant dans des conditions pratiquement indépendantes de la vitesse. Le frein à main n'a pas dit non plus son dernier mot : il est d'ordinaire calculé pour avoir son plein effet dans les vitesses normales ; mais s'il arrive que la voiture s'emballe, il devient défectueux, pour deux raisons : la trop grande vitesse, et la trop faible puissance pour laquelle il a été prévu. C'est aussi une des causes de l'accident du chemin de fer de Wadenswiel-Einsieder, qui ne fut que le résultat malheureux d'une expérience faite pour vérifier si l'adhérence d'une machine à trois roues couplées était suffisante pour gravir une rampe de 5 p. 100 sans faire usage de crémaillère. Ces accidents graves, provenant d'un frottement mécanique insuffisant aux grandes vitesses, doivent donc plus que jamais encourager les ingénieurs à la recherche d'un frein développant une friction magnétique intense.

Barbillion,
Docteur ès-sciences,
Ingénieur à la Cie Générale des omnibus.

AUTOMOBILES ÉLECTRIQUES (1)

SYSTÈME BERTHIER

Ce système présente cette particularité que grâce à l'emploi d'un moteur électrique à induit et à inducteur tournants, le différentiel se trouve supprimé, l'induit faisant tourner l'une des roues, l'inducteur faisant tourner l'autre.

Sur l'arbre *a* (fig. 2) formant essieu, sont fixés l'induit *b* du moteur et la roue *c*. L'inducteur *d* est monté librement sur l'arbre *a* au moyen des paliers *e* qui lui permettent de tourner en sens contraire de la rotation de l'arbre *a*. Autour de ce dernier arbre, et sur sa moitié environ, se trouve un arbre creux ou arbre différentiel *f* sur lequel est calée la roue *g*. L'arbre plein *a* et l'arbre creux *f* tournent dans les paliers *h* supportant la voiture au moyen de l'étrier *i*. La roue *j* calée sur l'arbre creux engrène avec un pignon *k* calé sur un arbre intermédiaire *l*, lui-même monté dans le support *m* et portant un second pignon *n* solidaire du premier qu'entraîne l'inducteur par une couronne à dentures intérieures *o*. Le courant est amené à l'inducteur et à l'induit par les balais.

Par suite de la mobilité de l'inducteur et de l'induit, ce dernier prend pour une valeur

(1) Voir dans *L'Éclairage Électrique*, les descriptions des automobiles de la Compagnie française des voitures électriques, t. XVI, p. 27, 2 juillet 1898 : Mildé-Mondos, t. XVI, p. 140, 23 juillet 1898 ; O. Patin, t. XVI, p. 188, 30 juillet 1898 ; Bouquet-Garcin-Schivre, t. XVI, p. 453, 10 septembre 1898 ; Riker, t. XVII, p. 341, 26 novembre 1898 ; Columbia, t. XVIII, p. 167, 4 février 1899 ; du Régiment des Sapeurs-Pompiers de Paris, t. XX, 23 septembre 1899 ; Krieger, t. XXI, p. 481, 30 décembre 1899 ; Morris et Salom, t. XXII, p. 41, 13 janvier 1900 et les résultats des Concours de voitures de place automobiles de 1898 et 1899, t. XV, p. 496, 18 juin ; t. XVI, p. 60, 9 juillet ; t. XVII, p. 16, 1er octobre 1898 ; t. XX, p. 157, 29 juillet 1899.

donnée de la force électromotrice, une vitesse angulaire moindre que si l'inducteur était

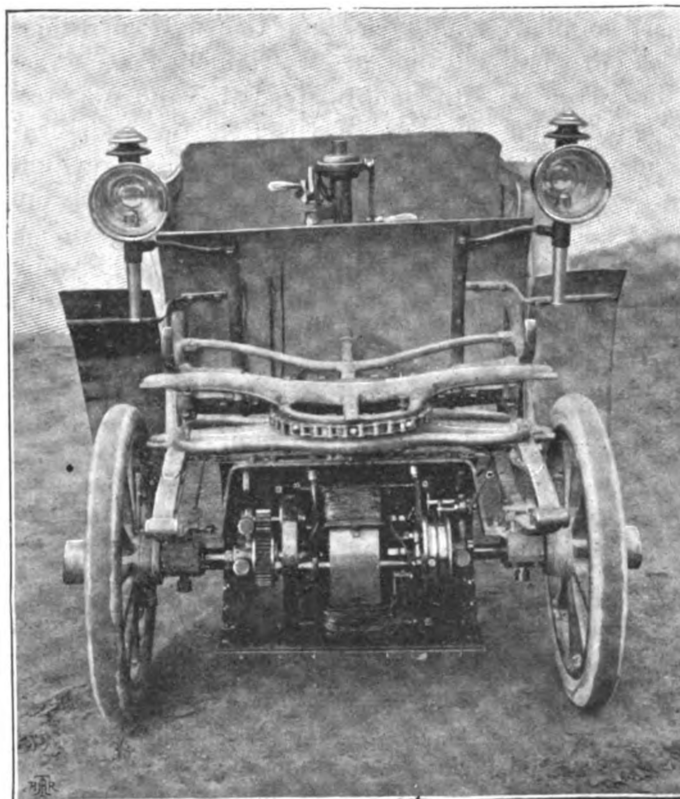


Fig. 1.

fixe; les engrenages étant calculés de façon que l'induit et l'inducteur tournent en sens

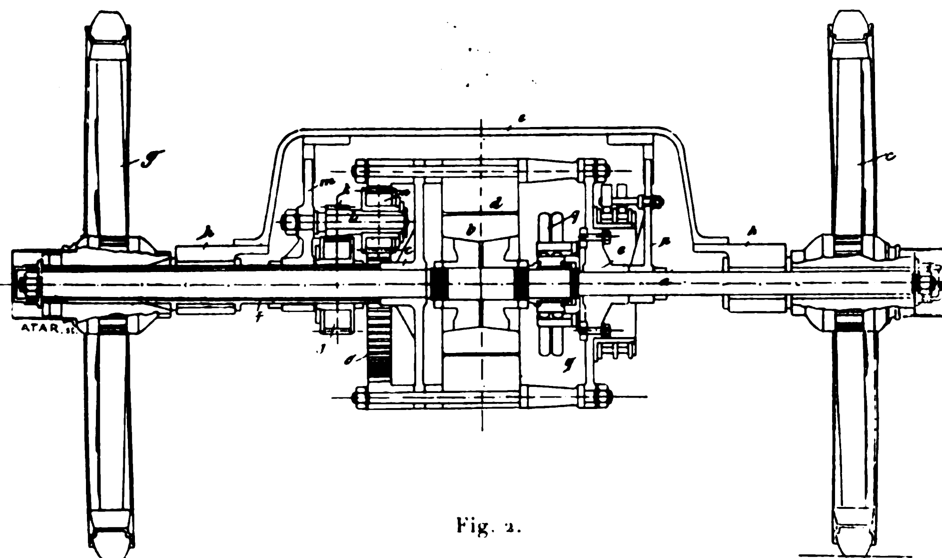


Fig. 2.

inverse avec la même vitesse, cette réduction est de moitié. L'emploi d'un inducteur

tétrapolaire a permis en outre de réduire à une assez faible valeur la vitesse angulaire de l'inducteur et de l'induit : dans la voiture qui a été construite dans les usines Lecocq et Cie de Genève, cette vitesse angulaire est de 200 t : m. Dans ces conditions, on peut donc parfaitement, comme on l'a fait, monter le moteur électrique directement sur l'essieu. Avec des roues d'un diamètre de 0,65 m, la vitesse normale de la voiture se trouve en effet être de $3{,}1416 \times 0{,}65 \times 200 \times 60$ m par heure soit environ 24 km à l'heure. Dès lors il devient facile de rassembler tous les organes moteurs dans une caisse cylindrique d'assez faibles dimensions entourant l'essieu et, par conséquent, de réaliser un avant-train moteur d'une très grande simplicité et d'un poids peu élevé.

La figure 1 représente l'avant-train moteur d'une voiture petit-duc de ce système. Les organes de manœuvre sont analogues à ceux des électromobiles ordinaires. Le combinateur et le volant de direction sont placés à l'extrémité d'une colonne fixée devant le siège du conducteur.

Les accumulateurs sont dissimulés dans un coffre formant la caisse du véhicule ; dans les essais qui ont été faits sur cette voiture, ces accumulateurs étaient du type Pescetto.

J. Reyval.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

DISTRIBUTION

Relai différentiel pour courant alternatif de l'A. E. G. *Elektrotechnische Rundschau*, t. XVII, p. 33, 15 novembre 1899.

Les relais communément employés pour dégager automatiquement un commutateur ou un régulateur sont constitués par une bobine traversée par le courant ou par un électro dont le champ crée une attraction ou une répulsion sur un induit de fer doux ou d'acier aimanté. La force résultante ne suffit pas le plus souvent pour produire l'action cherchée sur l'instrument de distribution ou de réglage ; elle est en général utilisée pour agir sur un contact et fermer ou ouvrir un circuit à plus grande intensité qui, à son tour, produit le dégagement.

L'inconvénient de ces appareils est que les contacts sont rapidement détériorés par suite des étincelles qui s'y produisent et qu'ils deviennent défectueux et incertains.

L'Allgemeine Elektrizitæts Gesellschaft a construit un relai où ce défaut est éliminé par la suppression du contact.

Le système se compose de deux bobines D et D_1 en circuit avec les enroulements W et W_1 de l'appareil à dégager ; DW et D_1W_1 forment deux branches parallèles reliées à la source M. La bobine D est construite de façon que son noyau de fer soit saturé magnétiquement à la tension voulue et par suite, pour une tension plus forte laisse passer, à cause de la diminution du coefficient de self-induction, le courant en proportion plus grande que pour une bobine moyenne-

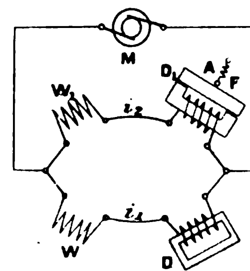


Fig. 1.

ment aimantée. Le courant i_1 augmente graduellement pour une tension plus faible et monte toujours plus rapidement pour une élévation de la tension. La bobine D_1 possède au contraire un noyau de fer avec aimantation moindre ; de plus il y a un entrefer changeant automatiquement avec les changements de la tension, de manière que, par l'attraction de l'armature A, l'entrefer soit augmenté lorsque la ten-

sion diminue, et inversement ; il s'ensuit que le courant i_2 varie en sens de la tension.

Il résulte de là que les deux intensités i_1 et i_2 sont égales pour une valeur déterminée de la tension ; pour une tension moindre, i_1 diminue et inversement, tandis que i_2 varie en sens inverse. Ainsi donc, quand la tension devient plus faible que la tension normale, l'action de l'enroulement W_1 l'emporte, tandis que dans le cas où la tension devient plus grande, c'est celle de W ; et cette propriété peut être utilisée pour actionner l'appareil comme s'il était alternativement mis en circuit et hors circuit par un relai ordinaire.

Comme exemple, prenons pour W et W_1 des solénoïdes d'un même nombre de tours avec un noyau de fer ordinaire mobile dans la direction de l'axe. Pour des courants i_1 et i_2 égaux, les attractions des solénoïdes sur le noyau se compensent, tandis que pour des courants inégaux, le noyau est attiré par le solénoïde le plus fortement excité. Le mouvement du noyau peut être utilisé pour déplacer un levier commutateur en fonction de la tension.

Si W et W_1 sont les enroulements d'un moteur parcouru en sens opposés par des courants de même phase, ils produisent sur l'induit des mouvements de rotation opposés qui se compensent pour une valeur moyenne déterminée de la tension, tandis que pour une tension différente, l'un des enroulements l'emporte sur l'autre et leur différence met l'induit en mouvement. Le sens de la rotation dépend ainsi de la valeur de la tension par rapport à la tension moyenne. L'induit peut avoir des formes très variées : induit à noyau muni d'enroulement en court-circuit, disque métallique, cylindre métallique, etc. Le moteur peut être employé pour faire dépendre de la tension les commutateurs ou les régulateurs, par exemple pour maintenir constante la tension d'un alternateur par déplacement d'aimant régulateur. G. G.

***Ruptures de l'isolant des câbles concentriques*, par Gisbert Kapp.** *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XX, p. 896, 28 décembre 1899.

Lorsque les premières stations centrales de courant alternatif furent installées, on reconnut qu'en couplant ou découplant un réseau de câbles concentriques on s'exposait à la rupture du câble entre le conducteur extérieur et l'armature de plomb. Ce danger est évité si l'on suit la règle suivante : au moment de la fermeture, fermer d'abord le conducteur extérieur ; au moment de l'ouverture, ouvrir d'abord le conducteur intérieur. Nous commencerons par rappeler l'explication de ces phénomènes avant d'en aborder d'autres non encore expliqués.

Soit un réseau de câbles concentriques à haute tension alimentant des transformateurs. On peut considérer un transformateur comme un appareil absorbant aussi bien du courant watté que du courant déwatté. Si la charge est grande et non inductive, le rapport du courant déwatté au courant watté est très petit et le coefficient de self-induction du transformateur est faible. Si au contraire la charge est nulle, ce coefficient est maximum. Nous pouvons donc considérer le transformateur comme un appareil dont l'inductance $L\omega$ est variable et dépend de la nature et de la grandeur de la charge du secondaire ainsi que de la tension.

Si l'on coupe le conducteur externe à l'*une* de ses extrémités, l'autre extrémité reste reliée à un transformateur qui le charge. Calculons le courant de charge. Soit C_1 la capacité du conducteur externe vis-à-vis de l'enveloppe (c'est-à-dire de la terre). Soit C_2 la capacité de tous les autres conducteurs externes non interrompus. Le courant suit la voie suivante : il part du rail du tableau communiquant avec l'âme du câble, de là va au conducteur externe par la bobine du transformateur, du conducteur externe C_1 il va à la terre, de la terre il passe par C_2 et gagne tout le réseau des câbles externes non interrompus, puis il retourne à l'autre rail du tableau. Les deux capacités C_1 et C_2 sont en série et on peut les remplacer par une seule :

$$C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2};$$

si C_2 est très grand vis-à-vis de C_1, on a $C = C_1$.

Les conducteurs externes de tout le réseau agissent comme s'ils étaient à la terre et l'isolement du conducteur coupé doit supporter toute la tension du courant de charge, tension qui peut d'ailleurs croître par résonance et percer l'isolant. Soit par exemple un réseau de 100 km de câbles concentriques à haute tension, 3000 volts, fréquence 45. Supposons que la capacité du câble extérieur vis-à-vis du plomb soit de 1 microfarad par km. Supposons que le

transformateur encore réuni au câble interrompu ait une puissance de 20 kilovoltampères et que le facteur de puissance du secondaire soit 0,9. Ce facteur ne diminue sensiblement qu'aux environs de la marche à vide. On peut calculer l'inductance du transformateur et déterminer ainsi les conditions pour qu'il y ait résonance dangereuse entre cette inductance et la capacité du câble interrompu. Il faut alors distinguer deux cas : *a*, Le câble forme un conducteur simple à l'une des extrémités duquel le transformateur reste branché aux deux conducteurs, tandis qu'on interrompt le conducteur externe à l'autre extrémité ; *b*, Le câble forme une boucle du réseau : le conducteur central est relié à des transformateurs aux deux extrémités, le conducteur externe seulement à une extrémité.

Traitons d'abord le premier cas, en admettant que les câbles secondaires ne sont reliés qu'au seul transformateur considéré et non aux autres câbles secondaires du réseau, autrement dit que la portion éclairée forme une île du réseau. Supposons que le courant à vide du transformateur soit de 3,33 p. 100, soit 0,22 ampères et les pertes dans le fer 300 watts. Cherchons quelle est pour les diverses valeurs de la tension aux bornes, la capacité nécessaire pour que le courant de charge soit égal au courant primaire correspondant à cette tension : la tension de la génératrice est supposée constante.

Considérons d'abord le cas où la charge se-

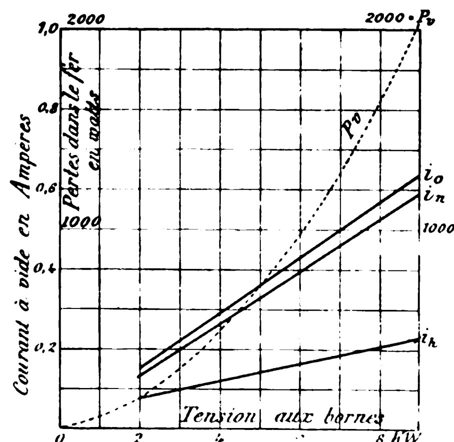


Fig. 1.

condaire est nulle. Si on connait les propriétés magnétiques du fer, on peut pour chaque tension calculer le courant magnétisant et les pertes, par suite le décalage du courant à vide. Pour un certain fer nous obtenons les courbes de la figure 1. P_v est la perte dans le fer à vide, i_0 le courant magnétisant, i_h sa composante wattée, i_p sa composante déwattée. La perte dans le cuivre est négligeable.

Pour trouver la capacité correspondant à 3500 volts, on procède ainsi (fig. 2). On porte à une

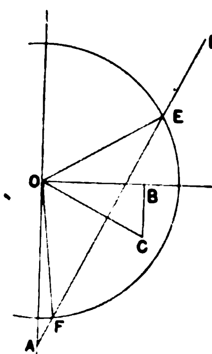


Fig. 2.

certaine échelle de volts OA = 3500 et à une échelle d'ampères OB = 0,23. C'est la composante déwattée du diagramme de la figure 1. BC est la composante wattée = 0,11, OC est le courant à vide et doit être perpendiculaire au vecteur de la tension du condensateur. On trouve ainsi la direction AD de ce vecteur. Sa longueur est déterminée par la condition que la tension de la machine soit 3000 volts. Si alors nous décrivons de O comme centre un cercle de rayon 3000, on a les points E et F. La tension entre le conducteur externe et l'armature est soit AE = 5700 volts soit AF = 575 volts. Mais pour avoir une de ces valeurs la capacité du condensateur doit avoir une valeur déterminée. Le courant de charge est

$$i = \omega C e\, 10^{-6},$$

ou

$$0{,}26 = 282\, C e\, 10^{-6}.$$

Donc pour $e = 5700$

$$C = 0{,}161,$$

et pour $e = 575$

$$C = 1{,}60.$$

On trouvera de même la capacité correspondant à toute autre tension aux bornes. On aura deux valeurs pour les tensions plus grandes que 3000 V. Pour 3000 volts, la plus grande valeur de

la capacité est infinie, c'est-à-dire qu'il y a court-circuit entre le conducteur externe, le plomb et le rail du conducteur externe. Mais alors il n'y a aucune différence de potentiel entre le conducteur externe et le plomb et les points A et F sont réunis. Ce cas se présente si nous mettons le conducteur externe à la terre en un certain point, moyen commode pour éviter le claquage du câble.

Si on représente graphiquement les résultats, on a la courbe de la figure 3.

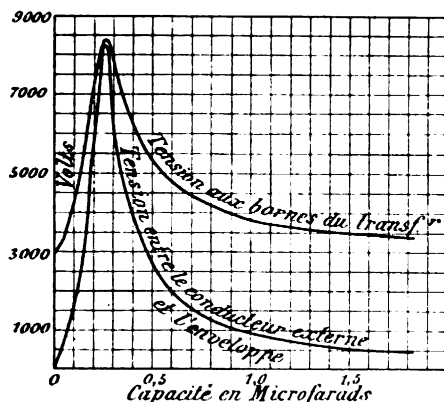


Fig. 3.

La capacité des câbles concentriques se calcule par la formule

$$C = \frac{0{,}024 \cdot \varepsilon l}{\log. \frac{R}{r}}$$

ε = constante diélectrique (3 à 4,5) l = longueur du câble, r = le rayon du conducteur externe, R celui de l'enveloppe. Comme nous supposons que le câble n'alimente que le transformateur de 20 kw, la section de chaque conducteur n'excédera pas 16 mm². La capacité est de l'ordre de 0,6 microfarad par km. Si nous considérons une tension de 5000 volts comme dangereuse, la figure 3 montre que la capacité dangereuse se trouve entre 0,13 et 0,35 microfarad, donc la longueur dangereuse est comprise entre 215 et 580 m. Le conducteur le plus dangereux, celui de 420 m correspond à une tension de 8000 volts.

C'est une opinion répandue que les conducteurs torsadés ne présentent aucun danger de rupture : cela n'est pas absolument exact. La capacité y est seulement beaucoup moindre : un câble de 3000 volts peut en supporter 6000, ce que l'on ne peut exiger des câbles concentriques. Si la capacité est par exemple 5 fois moindre, la longueur dangereuse d'un câble torsadé est comprise entre 1400 et 2000 m. Le danger est évité si l'on interrompt à la fois les deux câbles, mais un court-circuit peut fondre le fusible de l'un des câbles seulement et il y peut y avoir danger de rupture, à moins qu'on n'emploie des fusibles beaucoup plus forts à la station qu'à l'extrémité de la ligne. On peut de même protéger un câble concentrique en ne mettant aucun fusible sur le conducteur externe.

Considérons ensuite le cas où le réseau secondaire est chargé : ce cas est bien plus favorable. Une très faible charge suffit à éviter les élévations de tension. La figure 4 donne la tension du transformateur et du conducteur externe dans le cas du $\frac{1}{10}$ de la charge ($\cos \varphi = 0{,}9$).

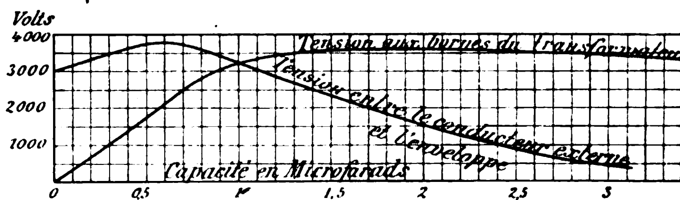


Fig. 4.

Le maximum de la tension entre le conducteur externe et l'armature est de 3800 volts, ce qui correspond à une longueur de 1 km. Ce cas ne présente pas de danger. La raison de cette différence tient à la faiblesse du décalage : mais si celui-ci augmente, le danger augmentera aussi. Supposons que le transformateur alimente un moteur ayant à pleine charge un facteur de puissance = 0,8. L'inductance sera de l'ordre de 270. Supposons qu'au démarrage $\cos \varphi = 0{,}3$. Si alors le coupe-circuit cède, il y a danger. La figure 5 montre les courbes de tension de ce cas. Mais la distance dangereuse est grande et pour les distances moyennes il y a bien moins de danger.

Plaçons-nous ensuite dans le cas *b* : le conducteur externe interrompu fait partie d'une boucle du réseau. Nous voyons tout de suite que le danger est bien diminué. Un semblable câble a ses extrémités reliées, non seulement à des transformateurs mais encore à d'autres câbles, de sorte que le courant trouve au moins deux chemins vers l'usine.

Tels sont les principaux cas de rupture signalés jusqu'ici. Mais il en est survenu d'autres, dus non à l'interruption seule du conducteur externe mais à une mise à la terre du conducteur interne. Ce cas est bien plus grave car ce contact à la terre se produit en général simultanément en plusieurs points et apporte une perturbation bien plus grave. Ces accidents ne se sont produits que dans les réseaux urbains en câbles concentriques et où les conducteurs primaires d'une part, les conducteurs secondaires de l'autre formaient des réseaux fermés. Dans les installations avec transformateurs uniques, ces cas ne se sont jamais produits. Soient (fig. 6) P et S le primaire et le secondaire d'un transformateur de sous-station. J est le conducteur

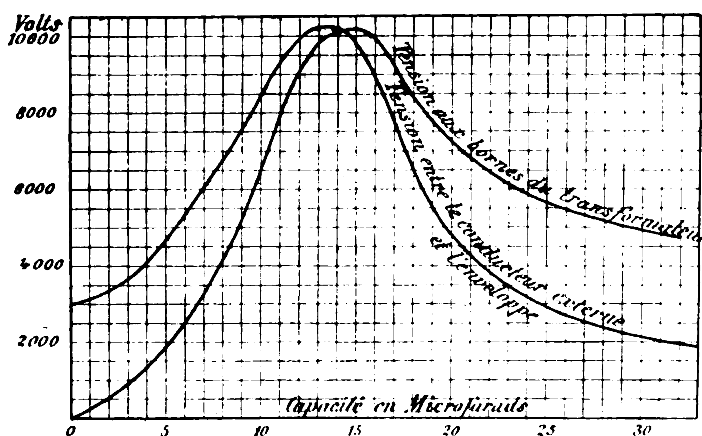


Fig. 5.

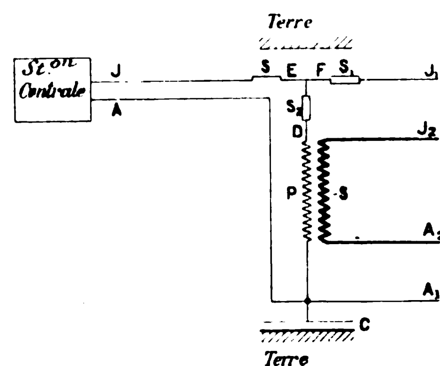


Fig. 6.

interne, A le conducteur externe. Cette sous-station est réunie à d'autres sous-stations par des câbles primaires représentés par J_1 et A_1. J_2 et A_2 sont les conducteurs secondaires qui vont aux autres sous-stations. Si J est interrompu, par exemple par fusion du plomb *s*, le primaire P est encore soumis à la tension J_1 A_1. Si *s* et s_1 fondent ensemble, le primaire P est encore soumis à la tension produite par le secondaire S qui est alimenté par J_2, A_2. Supposons qu'il se produise en D un contact à la terre : les fusibles *s*, s_1, s_2 fondront. Le transformateur est alimenté par son secondaire et le primaire devient une source inductive et résistante. Le courant suit la voie suivante : du point marqué *terre* sur le diagramme (revêtement en plomb) il va en D puis passe par P et gagne A_1 ; de là il passe par la capacité C de tous les conducteurs externes, vis-à-vis du plomb et regagne la terre. L'inductance est bien moins grande que dans le cas précédent car elle ne provient que de la dispersion magnétique du transformateur, mais la capacité égale à celle de tout le réseau est de beaucoup supérieure. Il peut alors se produire résonance et par suite danger pour tout le réseau : cela dépendra de la charge du secondaire et de la dimension des fusibles. Si la charge est grande et les fusibles de J_2 A_2 relativement faibles, il est vraisemblable que le courant de S sera interrompu avant la fusion de *s* et s_1, ce qui évite tout danger. Mais on ne peut compter sur cette protection car il est impossible de calculer avec précision un fusible. Si *r* est la résistance du fusible, *i* l'intensité, T la température de fusion, *c* une constante dépendant de la chaleur spécifique du fusible et de ses bornes, K un facteur qui exprime l'action refroidissante, la durée qui s'écoule entre le court-circuit et la fusion est

$$t = -2,3\frac{c}{K}\log.\left(1-\frac{KT}{ri^2}\right).$$

Il suffit que *t* soit plus grand que la durée de quelques périodes. Un calcul approché montre qu'un fusible qui met 100 secondes à fondre pour une intensité double de la normale, demandera 0,7 seconde pour une intensité 20 fois plus grande, et 0,13 pour une intensité 50 à 60 fois plus grande. Dans ce cas il s'écoulerait encore 6 périodes avant la rupture du courant, ce qui est largement suffisant pour produire un accident.

Ainsi donc malgré les courts-circuits sur les conducteurs internes et l'absence de ces courts-circuits sur les conducteurs externes, il peut y avoir résonance. Cherchons si celle-ci est dangereuse. Supposons un réseau urbain de 100 microfarads, un transformateur de 20 kilovoltampères ayant 300 watts de pertes dans le fer et autant de perte dans le cuivre, enfin une chute ohmique de 1,5 p. 100 et une chute de tension inductive de 4 p. 100. Nous avons à pleine charge dans le primaire

$$e_r = R.6,7 = 45,$$
$$e_s = L\omega.6,7 = 120,$$
$$e = \sqrt{\overline{45}^2 + \overline{120}^2} = 128.$$

Si donc nous mettons aux bornes du secondaire une tension de $100 \frac{128}{3000}$ soit 4,26 p. 100 de la tension normale secondaire, nous aurons dans la bobine primaire en court-circuit l'intensité normale.

Plus le transformateur est grand et plus la résistance et l'inductance diminuent. Dans certaines limites ces grandeurs sont inversement proportionnelles à la puissance P en kilovoltampères :

$$R = \frac{134}{P}, \qquad L\omega = \frac{360}{P}.$$

Supposons alors que la mise à la terre du conducteur interne se produise près d'un transformateur pour lequel P = 20. Cherchons la tension entre le conducteur externe et la terre : Prenons un courant de charge, par exemple, 40 ampères. La composante wattée est

$$40.\frac{45}{128} = 14,$$

la composante déwattée

$$40.\frac{120}{128} = 37,5.$$

Dans la figure 7

$$OA = 37,5,\ AB = 14 \text{ et } OB = 40.$$

La tension aux bornes est perpendiculaire à OA et sa grandeur est

$$e = 128.\frac{40}{6,7} = 764\,V = OD,$$

où nous négligeons la perte dans le fer à cause de sa petitesse. Pour qu'un courant de 40 ampères

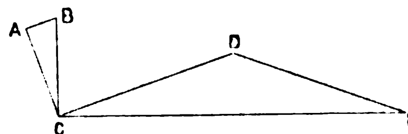


Fig. 7.

charge le condensateur, il faut une tension déterminée par l'égalité

$$i = \omega C_c\, 10^{-6};$$

d'où $e = 1420$ volts. Nous porterons sur une perpendiculaire à O B la longueur O E = 1420. La tension DE = 750 volts est celle qui résulte de la combinaison du transformateur et du réseau.

Mais en réalité la tension du transformateur est plus élevée que 750 volts. Si le réseau secondaire n'avait pas de résistance on aurait en S la tension normale et en P on aurait DE = 3000 volts. Admettons que les conducteurs reliant les sous-stations soient calculés de telle sorte que la perte de tension soit de 1 p. 100 et supposons que la station considérée soit reliée avec 3 autres. Le transformateur est donc alimenté par 3 câbles dont la perte pour 6,7 ampères au primaire n'est que de un demi p. 100. Dans le cas présent le courant n'est pas de 6,7 ampères mais bien de

$$40.\frac{3000}{750} = 160\,A,$$

et la perte est de

$$\frac{1}{3}\,\frac{160}{6,6} = 8 \text{ p. } 100.$$

La tension aux bornes du primaire est donc de

$$3000.0,92 = 2760\,V.$$

Donc dans la figure 7 nous changerons l'échelle de telle sorte que DE = 2760. La tension du conducteur externe sera alors 5220 volts, la tension aux bornes 2800 volts, le courant 147 ampères soit 22 fois l'intensité normale. Il s'écoulera donc 25 périodes avant que les fusibles ne fondent, ce qui est largement suffisant pour percer l'isolant extérieur en bien des endroits.

On peut de la sorte calculer la tension du conducteur externe pour diverses grandeurs de

****

transformateurs et tracer les courbes de la figure 8 qui donnent le danger de claquage en fonc-

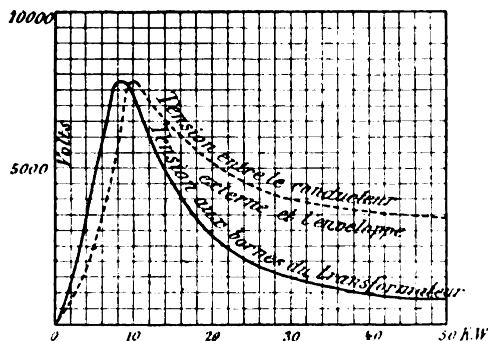


Fig. 8.

tion de l'importance de la sous-station. Comme on le voit il n'y a danger ni pour les petits transformateurs ni pour les grands. Si nous considérons 5000 volts comme dangereux, il faut rejeter les transformateurs de 7 à 22 kilovolt-ampères. On étendra même ces limites car la méthode précédente n'est qu'une approximation.

Pour protéger réellement le réseau contre ces phénomènes, il n'y a qu'un moyen, c'est la mise à la terre du conducteur externe. Cette mise à la terre ne peut se faire qu'en un seul point pour éviter les perturbations téléphoniques, mais cela suffit si en même temps on ne met aucun fusible sur le fil externe. On aura intérêt à mettre une résistance non inductive sur la prise de terre pour qu'en cas de contact à la terre du conducteur interne le courant ne soit pas plus intense qu'il ne le faut pour fondre les fusibles.

Pour les conducteurs câblés, il n'y a pas de fil externe et la mise à la terre est impossible. Heureusement que la capacité y est bien moindre et que le danger est tellement reculé qu'on peut dire qu'il n'existe pas pour les réseaux urbains ordinaires. E. B.

TÉLÉGRAPHIE-TÉLÉPHONIE

Progrès récents dans la télégraphie sans fil, par **G. Marconi**. Conférence faite le 2 février à la « Royal Institution » de Londres, publiée dans *The Electrician* du 9 février, t. XLIV, p. 555.

Dans cette conférence, M. Marconi, après quelques considérations élémentaires sur les principes de la télégraphie sans fil, que rendait nécessaires la composition de l'auditoire, expose les progrès réalisés dans ces derniers mois dans la construction des cohéreurs, la réalisation de la syntonisation, l'augmentation de la portée des signaux, et termine en faisant connaître les résultats des nombreux essais qui ont été faits l'an dernier sur la télégraphie. Nous donnons ci-dessous une analyse des divers points de cette conférence qu'il nous a paru intéressant de signaler (1).

---

(1) Disons tout de suite que si dans cette analyse il n'est question que des travaux de M. Marconi et de ses collaborateurs immédiats, cela ne doit pas être attribué à ce que, dans le désir d'être bref, nous avons omis de signaler certains passages de la conférence. Nous croyons cette remarque utile, car étant donné le titre de cette conférence on pourrait s'attendre à y trouver une étude impartiale des divers travaux exécutés récemment aussi bien sur le continent européen qu'en Amérique. M. Marconi, mal conseillé sans doute par les administrateurs de la Wireless Telegraph and Signal C° qui exploite ses brevets et, disait récemment *The Electrical World*, l'inventeur lui-même, a jugé bon, pour n'en pas perdre l'habitude, de ne parler que de lui. Tout ce qu'il juge à propos de dire des travaux des autres se borne à cette phrase : « j'espère que si je passe rapidement sur l'historique de la télégraphie sans fil et que si je ne parle pas des questions de priorité, on n'en conclura pas que je n'aie rien à dire sur ces questions et que tout ce qui a été dit à leur sujet soit entièrement correct. »

Cette façon un peu trop cavalière de passer outre aux antériorités et de s'attribuer tout le mérite d'une invention sur la genèse de laquelle ceux qui ont suivi de près les premières expériences de M. Marconi au laboratoire de M. Righi pourraient dire beaucoup plus long que M. Marconi n'y tient sans doute, a été blâmée il y a longtemps déjà dans ce journal (voir t. XIII, p. 389, 27 nov. 1897). Aussi ne reviendrions-nous pas sur ce point si nous n'étions heureux de constater que la presse technique étrangère, après avoir tout d'abord approuvé cette manière de lancer une invention, commence à revenir sur son opinion.

Il y a quelques mois c'était notre confrère américain *The Electrical World* qui reconnaissait que les dispositifs brevetés par la Wireless Telegraph and Signal C° ne sont pas indispensables pour l'exploitation de la télégraphie sans fil, les découvertes antérieures et tombées dans le domaine public suffisant pour cela. Actuellement c'est notre confrère anglais *The Electrician* qui, dans le numéro même où il reproduit la conférence de M. Marconi, fait observer que celui-ci aurait pu parler, à propos de la syntonisation, des expériences de Lodge et de Fessenden, et, à propos des essais récents de télégraphie sans fil, des expériences faites en France par le lieutenant Tissot avec des appareils Ducretet; de plus il critique vivement M. Marconi d'avoir dit dans sa conférence que l'insuccès de la télégraphie sans fil dans les opérations de la guerre actuelle contre les Boers est dû à l'imprévoyance du War Office.

1. En ce qui concerne la construction des cohéreurs M. Marconi se borne à dire que la longueur de l'espace occupé par la limaille et la grosseur des grains de limaille ont dû être peu à peu diminuées dans le but d'augmenter la sensibilité de ces instruments. Dans les cohéreurs actuellement en usage cette longueur est réduite à 1 mm, les électrodes sont en argent et la limaille (dont la nature n'est pas indiquée) est extrêmement fine[1]. La résistance de ces cohéreurs, pratiquement infinie à l'état normal, tombe à une valeur comprise entre 100 et 300 ohms sous l'influence des ondes hertziennes.

2. M. Marconi décrit ensuite le dispositif de syntonisation qu'il a fait breveter en mars 1899 et qui, comme il a été dit dans la revue citée plus haut (p. 511), consiste à disposer le cohéreur et un condensateur dans un circuit distinct du circuit de l'antenne, ce dernier n'agissant sur le précédent que par induction au moyen d'un transformateur dont le primaire est relié d'une part à l'antenne, d'autre part à la terre, et dont le secondaire est en série avec le cohéreur. A propos de l'effet et du mode d'action de ce dispositif relevons les phrases suivantes : « L'effet de ce transformatenr est d'accroître la force électromotrice des oscillations induites aux extrémités du cohéreur, et par conséquent de faire fonctionner cet organe soit avec des ondes moins intenses soit avec une distance de transmission plus grande que lorsque le cohéreur est connecté directement à l'antenne. J'avais souvent remarqué, dans des expériences déjà anciennes que l'emploi d'un long et fin fil au poste récepteur donnait de meilleurs résultats qu'un fil court et gros. Je pensai que cela était dû à ce à ce que la rupture de l'isolement des grains de limaille dépend plutôt de la force électromotrice des oscillations induites que de leur intensité. » On voit que la raison de l'emploi d'un transformateur reste encore mystérieuse.

3. Le conférencier rappelle que, se basant sur des essais à courte distance, il a autrefois énoncé cette loi que, pour une même quantité d'énergie dépensée pour la production des ondes, celles-ci agissent à une distance qui varie approximativement comme le carré de la hauteur de l'antenne et comme la racine carrée de la capacité placée au sommet de l'antenne. Des expériences plus récentes ont montré que cette loi est correcte jusqu'à 85 milles, soit environ 136 km. Ainsi entre North Haven Poole et Alum Bay (île de Wight), stations distantes de 31 km environ, il faut une hauteur d'antenne d'au moins 22,5 m ; d'après la loi énoncée on pourrait donc transmettre des signaux jusqu'à 124 km avec une hauteur d'antenne de 45 m ; or des expériences directes ont montré qu'on peut atteindre alors 136 km.

M. Marconi fait observer que dans les essais à 136 km dont il vient d'être question, les antennes n'étaient pas *géométriquement* visibles. A cause de la courbure du globe terrestre la droite joignant les deux antennes passait à une profondeur de 300 m au-dessous du niveau de la mer.

4. Dans cette partie de la conférence, l'auteur revient sur le transformateur employé dans le dispositif de syntonisation. Il dit avoir fait avec M. Kennedy de nombreuses expériences avec des bobines de modèles très différents (plusieurs centaines) et que ces expériences lui démontrèrent l'impossibilité de se servir de transformateurs analogues aux bobines d'induction ordinaires, l'emploi de ces bobines donnant lieu à une diminution de la distance de transmission au lieu de l'augmentation que l'on avait en vue. Il se trouva ainsi conduit à imaginer un transformateur de forme spéciale : le primaire est formé d'un fil très fin enroulé un grand nombre de fois sur un manchon en ébonite ; le secondaire est constitué par deux ou quatre bobines de fil encore plus fin, dont les couches successives présentent un nombre de tours décroissant à mesure qu'on s'éloigne de la bobine primaire de telle sorte que la section de l'enroulement affecte la forme d'un triangle. La façon dont l'enroulement est fait et la manière dont les deux ou quatre bobines sont connectées ensemble ont la plus grande influence sur les résultats obtenus ; les schémas donnés paraissent indiquer que chaque couche doit commencer du même côté, que quand il n'y a que deux bobines celles-ci doivent être reliées par les extrémités libres de chacun des fils de la couche la plus proche du primaire, et que quand il y a quatre bobines les deux bobines médianes doivent être reliées comme il vient d'être dit, leur connexion aux deux autres se faisant de manière inverse, c'est-

[1] Voir à ce propos : G. Ferrié. Le poste de télégraphie sans fil de Wimereux, *Éclairage Électrique*, t. XXII, p. 510, 31 mars 1900.

à-dire en joignant la couche extérieure de chaque bobine médiane à la première couche intérieure de la bobine extrême adjacente. Suivant l'inventeur ces modes d'enroulement et de connexion auraient pour conséquence « d'empêcher les effets dus à l'induction électromagnétique d'être en opposition avec l'induction électrostatique aux extrémités du primaire ».

C'est à l'emploi de ces transformateurs que M. Marconi attribue la possibilité de communiquer aux très grandes distances qui ont été atteintes dans les essais faits pendant les dernières manœuvres anglaises. Ainsi tandis qu'il était possible de communiquer facilement jusqu'à 60 milles (96 km) lorsqu'on employait le transformateur à quatre bobines induites, la distance se trouvait réduite à 7 milles (11,2 km) quand on enlevait cet appareil.

5. La dernière partie de la conférence est consacrée à l'exposé des applications réalisées et des résultats des essais faits l'an dernier.

L'application la plus importante est la liaison télégraphique du bateau-feu de East Goodwin avec la côte ; elle date du 24 décembre 1898 et a permis, outre l'envoi journalier de télégrammes de service, de demander des secours en cinq circonstances : trois fois pour des navires échoués dans le voisinage du bateau-feu, une fois pour le bateau-feu lui-même endommagé par suite d'une collision avec un vapeur et enfin une dernière fois pour faire débarquer un homme de l'équipage dangereusement malade. L'un des appels permit de sauver l'équipage et la cargaison d'un navire à vapeur français en perdition, navire dont la police d'assurance s'élevait à plus de 1 400 000 fr. Jusqu'ici un employé de M. Marconi est en permanence sur le bateau-feu mais actuellement son rôle est plutôt d'apprendre aux hommes de l'équipage le maniement des appareils que d'opérer lui-même.

M. Marconi parle ensuite des essais faits dans la Manche avec le concours du gouvernement français. Mais il ne fait que signaler les résultats qu'ils ont fournis (voir la revue citée plus haut p. 513) et il s'étend au contraire sur les essais effectués pendant les manœuvres navales anglaises de l'automne dernier. Les résultats de ces essais ont été indiqués antérieurement dans ce journal (t. XX, p. CXIV, 9 sept. 1899), dans une note où il était dit que les communications entre le « Juno » et l'« Europa » avaient pu être maintenues d'une façon régulière jusqu'à 40 milles nautiques (environ 78 km) et que des signaux avaient pu être transmis jusqu'à 60 milles (environ 111 km). D'après la conférence de M. Marconi cette dernière distance était en réalité de 72 milles nautiques (soit 136 km).

Ces résultats engagèrent la Wireless Telegraph and Signal C° à faire sur terre des essais à grande distance ; dans ce but deux stations furent érigées, l'une à Chelmsford, l'autre à Harwich, à une distance de 54 km ; les communications furent très bonnes.

En septembre dernier des communications furent établies, à l'occasion du Congrès de Boulogne de l'Association française pour l'avancement des sciences et du Meeting de Douvres de la British Association, entre Wimereux et un poste provisoire établi sur la tour de l'hôtel de ville de Douvres. On profita de ce dernier poste pour entrer en communication avec le bateau-feu d'East Goodwin et on constata que la transmission était très régulière bien que les hautes falaises sur lesquelles s'élèvent le château de Douvres et, un peu plus au nord, le phare de South-Foreland, se soient trouvées sur le trajet direct des ondes. On put également communiquer de Wimereux à Harwich ou Chelmsford ; dans les deux cas la distance franchie était d'environ 136 km dont 48 km au-dessus de la mer ; les antennes étaient à 45 m au-dessus du sol dans les stations réceptrices et transmettrices.

M. Marconi parle aussi des résultats obtenus en novembre dernier aux Etats-Unis pendant la course nautique de la coupe « America » : 4 000 mots furent transmis pendant la durée totale de cinq heures des transmissions. Les essais qui furent faits à la suite en présence d'une commission du Département de la Marine américaine (voir *L'Éclairage Électrique*, t. XXI, p. LXXXVI et CX, 25 nov. et 2 déc. 1899 et t. XXII, p. XLV, 27 janv. 1900) ne permirent pas de communiquer à plus de 57 km, mais comme nous l'avons déjà dit, cet insuccès doit être attribué à ce que les appareils employés n'étaient pas construits en vue de transmissions à grande distance, M. Marconi ne voulant pas faire usage du transformateur dont il a été question plus haut et qui n'était pas encore protégé par les brevets américains.

M. Marconi rappelle qu'à son retour d'Amérique, à bord du *Saint-Paul*, on lui demanda

d'installer ses appareils sur le paquebot et qu'il put ainsi entrer en communication avec le poste des Needles, de l'île de Wight, et avoir de cette façon, plusieurs heures avant l'arrivée, des nouvelles de la guerre qui venait d'éclater dans l'Afrique du Sud.

Il termine par l'indication des tentatives qui ont été faites pour utiliser son système de télégraphie dans les opérations de cette guerre. On sait que, jusqu'ici du moins, ces tentatives n'ont pas donné de résultats satisfaisants. M. Marconi attribue ces mauvais résultats à ce que les télégraphistes envoyés dans ce but ne trouvèrent le matériel nécessaire ni pour l'établissement de supports assez élevés, ni pour la confection de cerfs-volants destinés à les remplacer, et qu'ils durent se borner à établir des supports insuffisamment hauts. Il ne croit pas que la nature ferrugineuse du terrain ait eu, comme il a été dit, une influence quelconque sur les résultats, car, outre qu'il considère cette opinion comme dénuée de base théorique, il n'a jamais constaté d'influence nuisible dans les essais faits pendant les manœuvres anglaises où une flotte de 25 navires cuirassés se trouvait souvent placée sur le trajet des ondes, ni dans les essais faits en Amérique où les ondes avaient à traverser ou à contourner un assez grand nombre de ces hautes maisons américaines dans la construction desquelles le fer tient une si large place.

Ajoutons que M. Marconi nous promet pour l'année 1900 des progrès auprès desquels ceux réalisés jusqu'ici n'auront qu'une bien faible importance et qu'il ne s'écoulera pas longtemps avant que la télégraphie par ondes hertziennes ne soit aussi employée que la télégraphie ordinaire. J. B.

Le nouveau projet de loi sur le service téléphonique en Italie.

La discussion du projet de loi réglant le service téléphonique en Italie (*L'Éclairage Électrique*, t. XX p. 519) était restée en suspens par suite de la clôture de la session parlementaire; la question vient d'être reprise et le premier projet a subi d'importantes modifications, comme on peut s'en rendre compte par le dessin ci-annexé, dans lequel les lignes déjà existantes ou en cours d'exécution sont représentées en pointillé, tandis que les lignes à construire sont indiquées en trait plein. Le nouveau réseau comprendra à peu près un nombre de lignes double de celui du projet primitif. La dépense totale prévue est de 4 100 000 fr.

Il n'est pas sans intérêt à ce propos de donner un rapide tableau des différents services téléphoniques européens de 1891 à 1897.

On voit par ce tableau quel est le retard de l'Italie ; il est à souhaiter que le projet actuel soit mis à exécution rapidement. D'après ce projet de loi, pour les lignes réservées à l'Etat, un crédit de 2 500 000 fr. est ouvert au Ministère des Postes et Télégraphes.

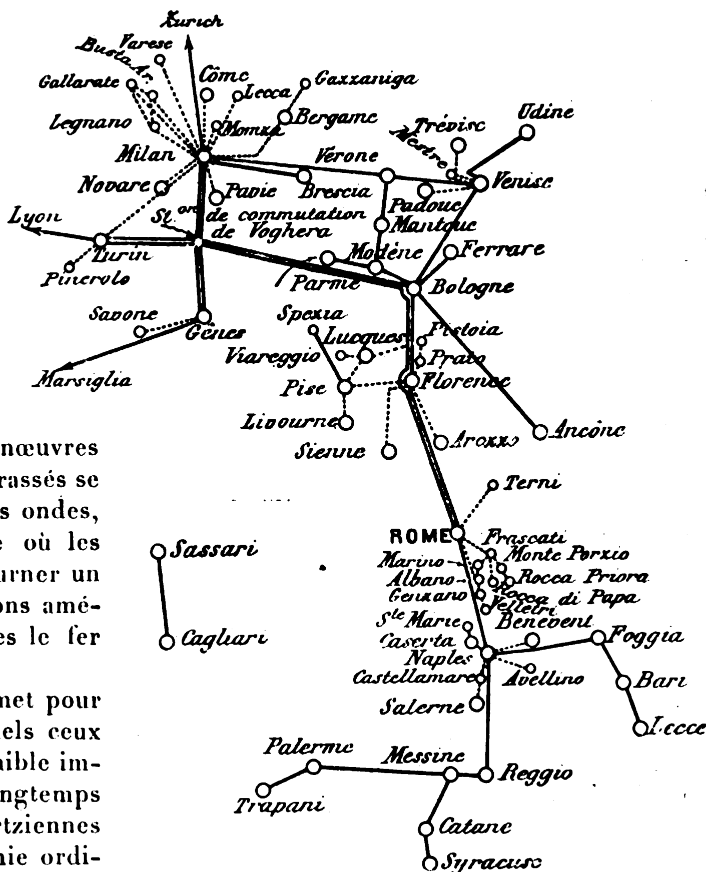


Fig. 1.

La dépense sera répartie sur huit exercices, à raison de 400 000 fr. pour 1899-1900 et 300 000 fr. pour chacun des suivants. Ces lignes pourront être construites plus rapidement par anticipation si les provinces, communes, associations, etc. veulent fournir les sommes néces-

	NOMBRE DE CIRCUITS		KILOMÈTRES DE FIL interurbain		POPULATION en 1897	KILOMÈTRE de fil pour 10000 habitants en 1897
	1891	1897	1891	1897		
Service de l'État.						
Allemagne	792	2418	13864	64682	52279901	12,38
Angleterre (1898)	»	880	»	84641	39910615	21,20
Autriche	23	83	2010	15131	23895413	6,33
Belgique	71	90	8520	11934	6588593	18
Bulgarie	»	5	»	1154	3153259	3,66
France	209	809	22856	55585	38517975	14,43
Hongrie	8	55	1401	13270	17463691	7,60
Luxembourg	71	121	1342	2234	217583	106
Roumanie	»	10	»	2376	5406249	4,40
Russie	6	18	»	1100	129211000	0,08
Suisse	117	386	2508	11570	2917819	39.76
Service de l'État et service privé.						
Danemark — Etat	»	9	»	1703	2172380	35,62
Danemark — Sociétés	»	53	»	3028		
Hollande — Etat	»	25	»	4427	5004264	8,84
Hollande — Sociétés	19	4	652	»		
Norwège — Etat	»	»	»	7210	2055000	125,90
Norwège — Sociétés	»	»	»	18820		
Suisse — État	218	611	6057	33963	4962568	96,10
Suisse — Société	»	»	6226	9488		
Suisse — Mixte	»	»	5998	4252		
Service privé.						
Italie	»	4	»	151	30347291	0,05

saires qui leur seraient ensuite rendues sans intérêt sur les exercices suivants.

Les concessions à l'industrie privée seront faites aux conditions suivantes :

Droit du Gouvernement de fixer le tracé des lignes et les conditions techniques de leur construction et de surveiller l'exécution des travaux.

Obligation du concessionnaire de se prêter à la liaison de ses propres lignes avec celles des autres concessionnaires et d'employer les procédés les plus favorables pour que les conversations puissent s'effectuer avec sécurité et précision.

Durée maxima de la concession 25 ans ; droit de rachat pour l'Etat, à un moment quelconque, après avoir donné avis 6 mois auparavant.

Le tarif n'a pas été changé. Pour les heures de nuit, c'est-à-dire de l'heure 21 à l'heure 6, le tarif sera diminué de 20 p. 100.

Dès l'approbation du projet, il sera donné cours à la convention stipulée entre la France et l'Italie pour l'établissement des deux lignes Turin-Lyon et Gênes-Marseille. Les deux pays ont été divisés en trois zones par des lignes équidistantes de 300 km à partir de la frontière, avec taxes partielles de 1, 2 et 3 fr. pour trois minutes de conversation et pour chaque pays. Par exemple, la taxe sera de 2 fr. entre Milan et Lyon et de 4 fr. entre Rome et Paris.

Après ces deux lignes, c'est la ligne Milan-Zurich qui sera établie : peut-être ensuite serait-il question de relier Turin et Genève en passant par le grand Saint-Bernard.

La téléphonie internationale a déjà fait de grands progrès en Europe, presque toutes les capitales sont reliées entre elles, quelques-unes même par plusieurs circuits. Paris est relié avec Londres, Bruxelles, Berne, et le sera bientôt avec Berlin ; cette dernière ville est reliée à Vienne, Budapest, Monaco, Copenhague, Amsterdam, Bruxelles, Berne, etc.

D'autres villes importantes des différents États sont aussi en communication téléphonique.

La ligne Berlin-Paris mesurera 1 100 km,

une nouvelle ligne Berlin-Copenhague mesurera 500 km dont 50 km sous-marins entre Warnemünde et Gedsjer. C'est le plus long trajet sous-marin pour les lignes téléphoniques; la ligne Calais-Douvres posée en 1891 n'a en effet que 38 km. G. G.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

ACADÉMIE DES SCIENCES

Note sur la transmission du rayonnement du radium au travers des corps; par **Henri Becquerel**. *Comptes rendus*, t. CXXX, p. 979-984.

Dans des Communications précédentes [1] M. Becquerel a signalé le fait que l'absorption du rayonnement du radium par divers écrans était variable avec la distance de ces écrans à la source radiante : si l'on disperse par un champ magnétique la partie déviable de ce rayonnement, et si on le reçoit sur une plaque photographique, on reconnaît que divers écrans placés sur la plaque arrêtent les radiations les plus déviées, jusqu'à une limite inférieure variable avec chaque écran, tandis que ces mêmes rayons semblent traverser les écrans lorsqu'ils sont placés près de la source. Cette variation de l'absorption avec la distance des écrans à la source radio-active a été vérifiée par M. et M[me] Curie au moyen d'expériences électriques, et par MM. Meyer et Schweidler au moyen de la phosphorescence.

La première idée qui vienne à l'esprit lorsqu'on cherche à expliquer ce phénomène est de supposer que, au sortir de l'écran absorbant, on ait affaire à un rayonnement nouveau. Ce rayonnement pourrait être le rayonnement incident, dont toutes les radiations auraient une vitesse moindre et seraient transformées en radiations plus déviables ; il se pourrait encore que ce rayonnement fût constitué par des radiations secondaires de la nature de celles que M. Becquerel a indiquées l'année dernière [2] qui paraissent analogues à celles que M. Sagnac a trouvées pour les corps frappés par les rayons X. Ces radiations nouvelles pourraient être identiques aux radiations absorbées, ou avoir une vitesse moindre.

Dans les Notes rappelées plus haut, se trouvaient décrites quelques expériences suggérées par ces hypothèses, et qui montraient que, dans les conditions particulières où elles étaient faites, pour des distances de la source ne dépassant pas 1 cm environ, le rayonnement transmis semblait émaner de la source plutôt que de l'écran, et que le rayonnement secondaire ne paraissait pas avoir un effet prépondérant [1].

Les expériences suivantes, dont quelques-unes remontent au début des recherches de M. Becquerel, montrent que ces idées ne peuvent être accueillies sans réserve, bien que le rayonnement secondairs puisse, dans certains cas, devenir comparable et même plus intense que le rayonnement transmis.

Tout d'abord M. Becquerel rappelle que le rayonnement du polonium préparé par M. et M[me] Curie n'est pas déviable et que, même en couvrant la matière par un écran d'aluminium, on ne réalise pas une transformation en rayons déviables dans les conditions, antérieurement décrites, de ses expériences. On n'observe pas non plus, sur la plaque photographique, d'effet dû à des rayons secondaires émis par l'aluminium sous l'influence de la radiation du polonium.

Pour reconnaître si le rayonnement émis par une source radio-active traverse un écran.

[1] *Écl. Élect.*, t. XXII, p. 235 et 314, 10 et 24 février 1900.

[2] *Écl. Élect.*, t. XIX, p. 239, 13 mai 1899.

[1] Depuis cette époque, plusieurs observateurs ont attribué au rayonnement secondaire un rôle prépondérant dans la transmission du rayonnement des corps radio-actifs.

M. Villard (*Société de Physique*. 2 mars 1900) admet, par analogie avec les rayons cathodiques, que tout écran frappé par le rayonnement du radium substitue à ce rayonnement incident un rayonnement qui lui serait propre, et serait toujours normal à la surface de l'écran.

Suivant M. E. Dorn (*Abhandl. der Naturforschenden Gesellschaft zu Halle*, Bd. XXII, p. 42, 20 janvier 1900), les corps radio-actifs émettraient principalement des radiations non déviables, et les radiations déviables seraient des radiations transformées. M. Dorn a écrit récemment à M. Becquerel pour lui proposer une explication des phénomènes rappelés au début de cette note, en admettant la transformation des radiations incidentes.

M. Becquerel a étudié l'ombre portée par un objet opaque situé de l'autre côté de cet écran, et a recherché si l'ombre pouvait être attribuée à des rayons issus soit de la source, soit de l'écran. Il distingue deux cas, celui où l'on opère dans un champ magnétique, et où l'ombre est produite par les rayons déviables dispersés, et le cas où l'on opère avec le rayonnement total non dispersé [1].

[1] « 1° *Rayonnement déviable.* — Dans une expérience décrite antérieurement, j'avais reconnu que, si l'on dispose une plaque photographique horizontalement dans un champ magnétique, en posant sur celle-ci une petite cuve contenant la matière radio-active, l'ombre de divers objets, produite par les rayons ramenés sur la plaque est très sensiblement la même lorsqu'on vient à couvrir la source par une gouttière cylindrique d'aluminium parallèle au champ. Sous la gouttière le rayonnement secondaire donne une impression intense ; le bord de la gouttière projette lui-même une ombre, montrant que dans cette région les rayons les plus déviables qui du reste pénètrent très obliquement, ont été arrêtés.

» M. Villard a très justement objecté à cette expérience que, si le rayonnement secondaire était normal au cylindre d'aluminium, tout se passerait comme si la source était l'axe du cylindre.

» L'expérience suivante ne prête pas à cette objection. On dispose normalement à la plaque photographique un écran plan en aluminium, de 0,1 mm d'épaisseur, cet écran étant presque au contact de la cuve contenant la matière active. Si l'on établit contre l'écran, et en dehors, une bande verticale de plomb de très faible épaisseur, on reconnaît que cette bande ne donne pas d'ombre dans la partie la moins déviée de l'impression, mais les rayons les plus déviables projettent une ombre dans laquelle on peut distinguer un mélange de radiations issues de la source et de radiations plus faibles issues de l'écran et déviées par l'aimant. L'expérience est plus nette si l'on substitue à la même bande de plomb une bande verticale de 1 mm d'épaisseur environ et de 5 mm de largeur, à 3 mm en avant de l'écran. En disposant de l'autre côté de la source une bande toute semblable, on peut, par un renversement du champ, obtenir sur la même épreuve deux ombres, l'une au travers de la lame verticale d'aluminium, l'autre sans l'interposition de cette lame ; on reconnaît dans la première un mélange de radiations directes et de radiations soit secondaires, soit diffusées. Ces dernières impressionnent la plaque photographique non du côté où l'écran d'aluminium reçoit le rayonnement incident, mais de l'autre côté de l'écran dans le sens où est entraîné le rayonnement de la source. Cependant, au bord de la lame de plomb et du côté qui reçoit le rayonnement, on observe une augmentation notable de l'action photographique.

» Cet effet se manifeste sous la petite gouttière cylindrique en aluminium dans l'expérience citée plus haut, et il est considérablement plus fort si, à l'aluminium on substitue le plomb. Sous le demi-cylindre, soit en aluminium, soit en plomb, l'impression est plus forte du côté où le rayonnement de la source est rejeté sur la plaque, mais, en même temps, on observe une action sur l'autre côté de la face interne du cylindre. L'impression qui s'étend sur toute la partie couverte par le cylindre métallique se diffuse en tous sens sur les bords de cette région.

» Il résulte donc de ces observations qu'une partie au moins du rayonnement secondaire n'est pas dévié, comme l'est le rayonnement du radium : quant à l'autre partie qui se propage dans le sens du rayonnement incident, il n'est pas démontré que ce ne soit pas un effet de diffusion partielle.

» Dans ces diverses expériences, les écrans et les objets sont nécessairement très près de la source : j'ai eu recours à d'autres expériences en dehors du champ magnétique ; on observe alors les effets sur les écrans du rayonnement total déviable et non déviable du radium. Cependant, comme les plaques photographiques sont alors enveloppées de papier noir, l'effet recueilli sur celles-ci n'est dû qu'à des rayons capables de traverser cette enveloppe.

» 2° *Rayonnement total.* — Les anciennes expériences que j'ai eu occasion de faire, soit d'abord avec l'uranium, soit plus tard avec les produits préparés par M. et Mme Curie, m'avaient donné, pour un court trajet des rayons dans l'air, des ombres géométriques permettant d'admettre une transmission directe au travers des corps. Je rappellerai en particulier une expérience qui montre que le rayonnement du radium ne se réfracte pas dans le verre ; un mince faisceau issu d'une source linéaire donne une impression rectiligne sur une plaque photographique. Si l'on cherche à dévier une partie de cette nappe plane par un prisme dont l'arête soit parallèle à la source, on reconnaît que le rayonnement transmis fait une impression à la même place que le rayonnement direct. Il semble donc bien y avoir, dans ces conditions, un rayonnement transmis issu de la source.

» J'ai réalisé récemment les expériences suivantes :

» On dispose horizontalement une source radiante linéaire, puis au-dessus, parallèlement à la source, un fil de cuivre rectiligne, et enfin, au-dessus, une plaque photographique enveloppée de papier noir. On observe alors sur celle-ci l'ombre géométrique du fil. Si, par exemple, la plaque est à 1 cm au-dessus du fil et la source à 2 cm au-dessous, et si entre la source et le fil, à égale distance des deux, on interpose un écran d'aluminium de 1 cm d'épaisseur, incliné à 45°, l'ombre du fil sur la plaque est notablement plus diffuse. Mais si l'on approche l'écran au contact du fil, l'ombre de celui-ci sur la plaque photographique disparaît presque complètement au milieu d'une impression diffuse. Dans ce cas, la plus grande partie des rayons reçus sur la plaque est formée de rayons issus de l'écran. Le phénomène est très net pour des distances de la plaque au fil et du fil à la source égales à 2 cm environ. On peut même obtenir sur la

M. Becquerel termine sa note par les considérations théoriques suivantes :

« On pourrait rendre compte d'une partie de ces phénomènes si l'on reconnaissait qu'en tra-

versant les corps le rayonnement prend une vitesse moindre ; l'effet se produirait alors dans l'air, mais les expériences n'ont révélé jusqu'ici aucun retard de cette nature. Si le rayonnement se ralentissait notablement dans l'air, les trajectoires dans un champ magnétique, au lieu d'avoir un rayon de courbure constant, auraient un rayon de courbure qui irait en diminuant à mesure que la vitesse diminuerait, ce qui paraît contraire à l'existence de trajectoires fermées.

» D'un autre côté, l'expérience que j'ai faite dans le vide avec des plaques enveloppées de papier noir ne nous apprend rien sur ce point, car soit la région du maximum d'impression, soit la limite de l'absorption du papier, correspondent à des rayons qui arrivent sur la plaque ou le papier avec des vitesses déterminées, et l'expérience ne nous apprend pas si ces vitesses étaient les mêmes au départ de la source.

» L'expérience suivante peut, au contraire, nous renseigner sur ce point fondamental. Dans un champ magnétique uniforme, on dispose sur une plaque photographique une source de très petit diamètre, puis au moyen de deux petites ouvertures pratiquées dans des écrans en plomb, on isole un faisceau sensiblement homogène décrivant, dans un plan normal au champ, une trajectoire circulaire bien déterminée, et venant faire sur la plaque une impression limitée. Si l'on place immédiatement après la seconde ouverture un écran absorbant, et s'il arrive que le rayonnement se ralentisse en traversant cet écran, la trajectoire ne sera plus l'arc de cercle primitif, mais un arc de rayon moindre, et la trace de l'impression sera déplacée du côté de la source. On peut même obtenir sur la même plaque la trace de deux faisceaux dont l'un seulement a traversé l'écran absorbant.

» Cette expérience est assez difficile à réaliser, en raison de la faiblesse des impressions et de la longueur des temps de pose ; j'ai même disposé une bande photographique de quelques millimètres de hauteur, placée verticalement contre l'écran, au-dessous de la seconde ouverture, pour recueillir l'effet d'un rayonnement très dévié, mais je n'ai observé aucun décalage entre les traces de deux rayons déviés dont l'un a traversé un écran d'aluminium très mince ou une feuille de papier noir. Il semble donc qu'en traversant ces écrans les rayons transmis gardent leur vitesse et leurs charges, ou tout au moins que le produit $\frac{m}{e}v$ varie peu. »

même plaque, d'un côté l'ombre directe, et de l'autre l'effet dû à l'écran d'aluminium.

» Ces effets varient si la distance de l'écran à la source devient moindre. Si l'on place l'écran oblique au contact du fil à 1 cm au-dessus de la source, puis la plaque à 1 cm au-dessus du fil, on observe alors une légère trace de l'ombre au travers de l'écran de 0,1 mm d'épaisseur. Cette trace est beaucoup plus forte au travers d'une lame d'aluminium plus mince, si la lame n'a que 0,01 mm d'épaisseur, l'ombre est très forte ; on l'observe également dans ces conditions au travers du papier noir et du verre placés au contact du fil.

» L'affaiblissement de l'ombre s'accentue si on éloigne l'écran de la source : mais, si l'on diminue l'inclinaison de l'écran, on réalise le même effet qu'en diminuant l'épaisseur. Une lamelle de verre de 0,15 mm d'épaisseur, inclinée à 45°, placée à 1 cm au-dessus du fil et à 3,6 cm de la source, donne une faible trace de l'ombre du fil, au milieu d'une impression diffuse.

» Ces apparences semblent confirmer le fait d'une absorption du rayonnement incident, augmentant avec la distance de l'écran à la source. Cela revient à dire que le rayonnement total est d'autant moins pénétrant qu'il a parcouru un chemin plus long dans l'air. »

Nouveaux modes d'entretien des diapasons, par A. et V. Guillet. *Comptes rendus*, t. CXXX, p. 1002-1004.

L'entretien du mouvement des corps oscillants peut être réalisé de plusieurs manières. Au cours de son étude optique des mouvements vibratoires, Lissajous a établi le premier diapason entretenu électriquement [1]. Plus tard, dans la construction d'un phonoptomètre [2], il a supprimé l'interrupteur auxiliaire dont il avait d'abord fait usage : un fil métallique fixé à l'une des branches d'un diapason, vibrant dans un plan vertical, ouvre et ferme périodiquement le circuit d'un électro-aimant par l'intermédiaire du mercure que contient un godet placé au-dessous de lui.

Enfin M. Mercadier a rendu possible l'entretien de la vibration d'un diapason dans un plan quelconque, en substituant au mercure un contact sec constitué par un plan conducteur contre lequel vient périodiquement buter le fil contact.

Le procédé d'entretien appliqué par A.

(1) *Comptes rendus*, 1857.

(2) *Société de physique*, 1874.

Guillet [1] au pendule de M. Lippmann [2] s'adapte parfaitement au diapason.

Ayant remarqué que le contact de l'électro-diapason paraissait fonctionner dans certain cas à la façon d'un contact microphonique, MM. A. et V. Guillet ont été conduits à essayer la solution suivante, qui leur a donné d'excellents résultats :

Les vibrations du diapason sont transmises au microphone directement ou par le milieu interposé.

La pression des charbons sur leurs supports doit être très faible à la mise en marche ; on l'augmente ensuite progressivement au moyen d'une régulation magnétique : les crachements disparaissent et le microphone rend bientôt un son musical à l'unisson de celui du diapason ; l'amplitude du mouvement des branches du diapason atteint alors sa valeur maximum : avec 4 volts on obtient facilement une amplitude d'environ 1 cm. Au lieu d'utiliser le courant microphonique, on peut le faire servir de courant inducteur et recevoir l'induit dans la bobine d'entretien.

Si l'on a besoin d'entretenir un diapason quelconque monté sur sa caisse de résonance, le microphone doit être placé à une petite distance en avant de l'ouverture de la caisse.

---

(1) *Écl. Élect.*, t. XVI, p. 380, 27 août 1898.

(2) *Comptes rendus*, 1896.

« Un fil de soie f relie l'une des branches A du diapason à un élément de ressort platiné r réglé de façon à toucher le fil de platine p, qui termine la vis v lorsque le pendule est au repos et le fil rectiligne.

» L'électro d'entretien e est en série avec le fil fin f' d'une petite bobine dont le gros fil f'' reçoit le courant d'une pile. Enfin on communique au diapason une aimantation préalable très légère, mais bien distribuée, au moyen d'une bobine creuse auxiliaire portant quelques spires. Il faut, dans une explication complète d'un dispositif quelconque, tenir compte du rôle de l'aimantation permanente inévitable des branches d'acier.

» Si les connexions sont bien établies, les charges induites à l'ouverture et à la fermeture du circuit primaire impriment aux deux branches des impulsions favorables au moment où elles passent par leurs positions d'équilibre. Ces conditions sont celles de l'entretien théorique. La dissymétrie d'action des deux extracourants, qui peuvent seuls jouer un rôle actif dans le dispositif classique de M. Mercadier, se trouve ainsi supprimée. (Voir G. Lippmann, *Séances de la Société de Physique*, 1885.) Il en est de même des inconvénients qui résultent d'un contact mal défini. »

Sur la durée d'émission des rayons Rœntgen, par **Bernard Brunhes**. *Comptes rendus*, t. CXXX, p. 1007-1010.

Au cours de ses expériences sur la vitesse des rayons Rœntgen [1], l'auteur a reconnu que l'émission des rayons provoquée par une rupture du courant primaire dans la bobine d'induction n'est pas instantanée comme une étincelle de décharge.

I. On peut le démontrer par une espèce très simple, analogue aux expériences classiques de Wheatstone et d'Arago [2].

---

(1) *L'Écl. Élect.*, t. XXII, p. 157, 27 janvier 1900.

(2) Un disque circulaire de tôle de 55 cm de diamètre et de 1 mm d'épaisseur est percé, suivant ses rayons, de séries de trous circulaires juxtaposés, ayant chacun 5 mm de diamètre. Si l'on dispose en arrière un tube de Crookes, et en avant un grand écran fluorescent, on voit les trous apparaître en clair dans l'ombre projetée par le disque sur l'écran. Vient-on à communiquer au disque une rotation rapide, le tube et l'écran restant fixes, les images des trous se déplacent : elles sautillent d'un point à l'autre de l'écran ; mais elles restent assez nettes pour qu'on puisse constater avec certitude que leur forme s'allonge dans le sens perpendiculaire au rayon du disque. Et les images reprennent la forme circulaire quand le moteur qui entraîne le disque vient à s'arrêter.

Si l'on remplace l'écran au platinocyanure par une feuille de carton blanc et le tube de Crookes par un micromètre à étincelles, on voit au contraire les projections des trous sur l'écran garder exactement la forme circulaire durant la rotation du disque. C'est l'expérience de Wheatstone, à peine modifiée.

L'expérience précédente fournit une évaluation approchée du temps que dure l'émission des rayons X.

Les trous d'une série sont répartis, presque tangents les uns aux autres, sur une droite de 9 cm de longueur, commençant à 16 cm du centre et finissant à 25 cm. Cette droite est dirigée suivant un rayon du disque. On a une soixantaine de séries de trous disposées suivant autant de rayons du disque.

Le disque est monté sur un moteur triphasé qui tourne à vide à 1 200 tours par minute.

Avec un tube Chabaud-Villard placé à 40 cm derrière le disque tournant, et un écran au platinocyanure placé à 3 cm ou 4 cm en avant, les trous apparaissaient, durant la rotation, transformés en des ellipses dont le grand axe était un peu inférieur au double du petit axe. Les trous les plus voisins de la circonférence du disque paraissent les plus allongés.

Si l'on admet un allongement dans le sens du mouvement égal à la moitié du diamètre normal du trou, soit 2,5 mm, cela fait un étalement angulaire égal à environ $\frac{2,5}{250} = \frac{1}{100}$. La vitesse angulaire du moteur étant $2\pi \times 20$

II. Cette *durée d'émission*, de l'ordre du dix-millième de seconde, énorme par conséquent par rapport à la durée d'une étincelle, est ce qui rend si difficile la mesure de la *durée de propagation* d'un flux de rayons X [1].

= 125, la durée d'émission est égale, en secondes, à $\frac{1}{100} \times \frac{1}{125} = \frac{1}{12500}$.

Un tube allemand, gros modèle, a donné un allongement des trous un peu plus sensible, par suite une durée d'émission un peu plus longue. Cette durée est liée, selon M. Brunhes, à la distance de la cathode à l'anticathode. Elle ne paraît pas varier, suivant qu'un même tube est plus ou moins poussé.

[1] Elle explique, en particulier, une expérience curieuse.

On a un excitateur primaire P, et, plus loin, à 60 cm environ, un excitateur secondaire S. Le premier est relié aux pôles d'une machine statique et aux armatures intérieures de deux bouteilles de Leyde ; le second, aux armatures extérieures de ces bouteilles, qui communiquent, en outre, l'une avec l'autre, par une résistance liquide. Si les fils de communication qui vont d'un excitateur à l'autre (fils interrompus, bien entendu, par les bouteilles) sont à peu près rectilignes, on met facilement en évidence l'influence de la lumière ultra-violette émise par l'étincelle primaire sur l'excitateur secondaire. On peut régler la distance des boules de celui-ci de telle sorte qu'il n'éclate *jamais* d'étincelle secondaire quand un écran de carton lui cache l'étincelle primaire, et qu'il en éclate *toujours* quand l'écran est supprimé.

L'expérience ne réussit plus si les fils de communication font de longs détours, ou s'ils sont enroulés en solénoïdes à spires trop rapprochées, parce qu'alors l'impulsion électrique n'arrive plus en S qu'après que S a cessé d'être éclairé. C'est sur un principe analogue que M. Swyngedauw a fondé une ingénieuse méthode d'étude de l'excitateur de Hertz (*Écl. Élect.*, t. XXII, p. 475, 24 mars 1900).

Ce réglage fait, et l'écran de carton remis en place, si l'on met devant l'excitateur primaire un tube de Crookes actionné par une bobine d'induction, et qu'on tourne d'autre part la machine statique, on voit de nouveau des étincelles éclater en S en même temps qu'en P. Certaines étincelles statiques en P éclatent seules, sans être accompagnées d'étincelles dynamiques en S : ce sont celles qui ne sont pas provoquées par l'action des rayons X. Mais quand on entend l'étincelle éclater en P au moment où s'illumine le tube de Crookes, on est sûr qu'il éclate alors une étincelle en S.

On supprime absolument toute étincelle en S, si l'on met à l'abri des rayons X, par un écran métallique épais, l'excitateur secondaire. *On obtient le même résultat si l'on met à l'abri des rayons X l'excitateur primaire sans mettre à l'abri l'excitateur secondaire.*

Cette expérience, très simple, pourrait servir à démontrer aisément l'action des rayons X sur les potentiels explosifs dynamiques. Elle réussit d'ailleurs en remplaçant le tube de Crookes par un micromètre à étincelles où l'on fait éclater des décharges assez fortes pour *déterminer* des étincelles en P et agir en même temps à la distance de S.

Mais ce qui était inattendu, c'est que l'expérience faite avec le tube de Crookes réussit tout aussi bien quand on le transporte du côté opposé de l'appareil, de façon que les rayons X éclairent d'abord le micromètre secondaire et ne rencontrent le micromètre primaire que plus loin. M. Brunhes a vérifié qu'au contraire l'expérience ne réussit pas, dans ces conditions, avec une étincelle, source de lumière ultra-violette.

L'explication de cette différence est la différence de durée d'une étincelle et d'une émission de rayons X.

Aussi l'auteur a-t-il renoncé à étudier la durée de propagation des rayons X en ayant recours à l'action des rayons X sur les explosifs dynamiques, bien que cette action ait l'avantage d'être incomparablement plus nette que sur les potentiels explosifs statiques.

III. Si chaque émission de rayons Rœntgen donne lieu ainsi à un train d'ondes de quelques dizaines de kilomètres de long, une importante question se pose : la tête et la queue du train marchent-elles de la même vitesse ? La longueur du train ne s'allonge-t-elle pas en route ?

L'expérience a fourni déjà une première réponse :

Si l'on reprend, en effet, l'expérience du disque de tôle percé de trous circulaires, on observe que *les images des trous sur l'écran conservent, durant la rotation, exactement la même forme, quelle que soit la distance du tube de Crookes au disque tournant.* Cette distance a varié exactement de 35 cm à 70 cm.

La traversée d'une épaisseur d'air de 35 cm ne paraît donc pas avoir modifié la longueur du train d'ondes qui vient frapper le disque. C'est là un résultat que n'aurait pas donné un flux de rayons cathodiques [1], et qui revêt une importance particulière dans les idées de M. Sagnac sur la nature de la lumière et des rayons X [2].

Il a, au point de vue de mes propres expériences, un intérêt plus immédiat. Si un train d'ondes de Rœntgen n'éprouve, en se propageant, que des déformations du même ordre que celles qu'éprouve un train d'ondes sonores [3],

[1] Q. Majorana, *Journal de Physique*, 3e série, t. VII, p. 225 ; 1898. *Écl. Élect.*, t. XIII, p. 335, 13 novembre 1897.

[2] Sagnac, *Journal de Physique*, 3e série, t. IX, p. 188 ; 1900. *Écl. Élect.*, t. XXII, p. 270, 17 février 1900.

[3] Violle et Vauthier, *Journal de Physique*, 2e série, t. X, p. 476 ; 1891.

on peut espérer une mesure exacte du temps écoulé entre les arrivées du *front de l'onde* sur deux obstacles successifs. Et, dans ma pensée, c'est bien l'arrivée du *front de l'onde* sur un micromètre qui détermine l'étincelle, dans les cas, trop rarement réalisés, où les rayons X établissent entre deux étincelles statiques indépendantes ce synchronisme presque parfait que révèle l'apparition du phénomène de Kerr.

Sur l'application directe du téléphone à la réception des signaux de la télégraphie sans fils, par E. Ducretet et A. Popoff.

A propos de la note de M. Thomas Tommasina présentée à la séance du 2 avril [1], MM. Ducretet et Popoff adressent une réclamation de priorité dans laquelle ils disent que le procédé présenté par M. Tommasina est décrit dans un brevet qu'ils ont pris en France le 22 janvier dernier [2].

[1] *Écl. Élect.*, t. XXIII, p. 79, 14 avril.

[2] Voici le texte de cette réclamation, non publiée dans les *Comptes rendus* et qui nous a été communiqué par M. Ducretet :

Le procédé décrit par M. Tommasina (de Genève) permettant la suppression du relais et du frappeur automatique et leur remplacement direct par un téléphone recevant les signaux hertziens, résultat obtenu par l'emploi d'un radio-conducteur à grenaille de charbon employée couramment dans les appareils micro-téléphoniques, *est entièrement décrit* dans le brevet pris en Russie par l'un de nous, puis en France le 22 janvier dernier.

Les procédés pratiques indiqués dans ces brevets ont été *sanctionnés par l'expérience* : M. A. Popoff, avec ces *appareils radio-téléphoniques*, a pu obtenir des transmissions régulières sans fil entre la côte et *des navires de guerre distants de 36 km* ; et, en *février dernier* relier entre elles des *îles du golfe de Finlande*, les postes extrêmes de ce réseau télégraphique sans fil, distants d'environ *50 km*, ont *des îles interposées entre eux* ; de plus, un des postes est placé à *3 km de la côte, au milieu des bois*. Ces expériences sont donc particulièrement intéressantes ; et, par suite du succès de cette transmission sans fil, *régulière et officielle*, entre ces îles, *Sa Majesté l'Empereur de Russie* a bien voulu manifester sa haute gratitude, en faveur de M. Popoff par un ordre officiel. — Ces expériences, ainsi réalisées, *ne sont donc plus des expériences de laboratoire, elles sont d'usage pratique*.

Dans une prochaine séance il nous sera possible de montrer à l'Académie des Sciences un de ces *appareils Popoff-Ducretet* : ils possèdent la propriété de permettre de reconnaître *quel est le poste qui a expédié la dépêche reçue* ; cela est obtenu par l'appréciation du *caractère du son téléphonique* perçu ; il varie suivant l'interrupteur employé au transmetteur et la cadence adoptée.

Ajoutons que nous avons reçu de M. Tommasina une lettre nous informant que le procédé qu'il a décrit a été breveté par M. Paul Galopin, de Genève, le 17 janvier, puis le 21 février dernier. J. B.

SOCIÉTÉ DE PHYSIQUE DE LONDRES

Séance du 23 mars.

Dispositif montrant la syntonie dans la télégraphie sans fil, par P.-E. Shaw.

Ce dispositif a pour objet de permettre de montrer dans une salle de conférences d'une quinzaine de mètres de longueur les principes de la télégraphie sans fil par ondes magnétiques.

Le circuit transmetteur, traversé par un courant interrompu par un électro-diapason faisant 100 vibrations par seconde, est disposé en série avec un second circuit d'inductance variable et ces deux circuits sont shuntés par un condensateur dont on peut faire varier la capacité. Par un réglage convenable on peut maintenir aisément des oscillations de fréquence 400 dans le circuit transmetteur.

Le circuit récepteur est en série avec une self-induction et une capacité variables que l'on règle de manière à mettre à l'unisson le circuit transmetteur et le circuit récepteur. Les oscillations qui prennent naissance dans ce dernier circuit produisent des oscillations induites de même fréquence dans un circuit à conducteur fin dont une partie est enroulée sur un tambour placé dans un champ magnétique intense et fixé à un fil dont la longueur et la tension sont réglées de manière que sa période d'oscillation naturelle soit de un quatre centième de seconde; ce tambour entre en vibration et ses vibrations sont utilisées pour produire, au moyen d'un contact microphonique fixé au tambour, des variations d'intensité dans un circuit disposé comme le précédent, c'est-à-dire comprenant un enroulement disposé sur un second tambour placé dans un champ magnétique. Ce dernier tambour provoque à son tour des variations d'intensité de courant dans un troisième circuit comprenant un téléphone récepteur, ces variations étant alors suffisamment grandes pour actionner la membrane téléphonique et donner un son perceptible à distance.

A la suite de cette communication, M. WATSON décrit plusieurs dispositifs qu'il a imaginés dans le même but et dans lesquels la syntonie est mise en évidence soit par des déviations galvanométriques, soit par la production d'étincelles dans le circuit secondaire.

SOCIÉTÉ ALLEMANDE D'ÉLECTROCHIMIE

Congrès de Gœttingen (1).

Sur l'électrolyse de l'acide benzoïque. Communication de M. **C. Schall**, de Zurich :

L'auteur rappelle les expériences de Nernst sur l'électrolyse et la conductivité des mélanges de sels minéraux qui se dissolvent mutuellement (2). Il a essayé lui-même l'action du courant sur les sels organiques obtenus par exemple dans l'action des carbonates anhydres sur les acides organiques fondus. L'allure de l'électrolyse ainsi que la conductivité dépendent de la température. Malheureusement il a fallu opérer dans des intervalles de température très resserrés, à cause de la décomposition ou de la volatilisation de l'acide fondu qui sert de dissolvant.

La dissolution du carbonate de soude dans l'acide o-nitrobenzoïque fondu possède une bien meilleure conductance que celle du benzoate de soude dans l'acide benzoïque fondu. Cette dernière solution offre une grande résistance au passage du courant, résistance qui croît encore si, au lieu de carbonate de soude on emploie du sodium métallique (lequel se dissout avec dégagement d'hydrogène) ou bien de l'o-bromométa-nitrobenzoate d'argent. Quand l'acide benzoïque se solidifie le mélange peut être considéré comme un véritable isolant.

Avec une force électromotrice de 100 volts et en employant des électrodes d'argent percées de trous à une distance de 3 à 4 mm et avec une surface de 19 cm², on n'obtint qu'un faible dégagement gazeux qui semblait partir des électrodes et qu'il était impossible d'observer avec des courants plus faibles. En même temps la masse fondue qui est d'abord claire se trouble. Si maintenant on fait passer brusquement un courant continu de 500 volts il se produit presque instantanément une ébullition tumultueuse. Sans aucun doute, si le milieu n'était ni volatil, ni décomposable sa température s'élèverait jusqu'au rouge. En remplaçant rapidement le courant de 500 volts par celui de 100 volts l'ébullition se modéra et dura pendant 20 minutes jusqu'à l'interruption de l'expérience.

Il s'était déposé entre les électrodes une substance organique solide, brunâtre contenant de l'argent. La masse fondue, lessivée à chaud avec une solution de carbonate de soude, abandonna un résidu qui peu à peu devint partiellement solide; il est soluble dans l'éther et possède l'odeur du diphényle et de l'acide benzoïque. Le produit est pressé sur une plaque poreuse qui absorbe la partie huileuse, le solide est dissous dans l'éther de pétrole (distillant de 50 à 70°), la liqueur est agitée avec une solution de bicarbonate de soude, filtrée à travers un filtre sec et enfin évaporée. On obtint de cette façon une cristallisation microscopique, fondant à 70° et ayant l'odeur et l'aspect des cristaux de diphényle.

Il est ainsi démontré que des courants suffisamment forts produisent au sein de la solution de benzoate de soude dans l'acide benzoïque fondu des corps qui se comportent comme des hydrocarbures. Il faut d'ailleurs ajouter que le rendement est très faible.

Ces expériences montrent, pour la première fois, que des acides aromatiques, traités d'une façon convenable, sont susceptibles de donner, sous l'action du courant, des produits de décomposition analogues à ceux qui sont depuis longtemps caractéristiques des acides de la série grasse.

Sur l'emploi de la force électromotrice et de la conductance comme moyen de reconnaître les solutions saturées et de les préparer. Communication de M. **J.-H. van t'Hoff**, de Charlottenburg (d'après des expériences de MM. Dawson et Chiaraviglio.)

L'auteur s'occupe depuis plusieurs années de la préparation et de l'analyse des solutions saturées, son but étant d'étudier la formation des gisements naturels, en particulier ceux de Stassfurt. On sait que ces solutions renferment en première ligne du chlorure de sodium, puis du sulfate de magnésie, du chlorure de magnésium et du chlorure de potassium. L'évaporation amena la cristallisation progressive de ces composés. On voit qu'il ne s'agit que de liquides

(1) Voir *L'Éclairage Électrique*, t. XXI, p. 24, 54, 256 et 456, 1899.

(2) *L'Éclairage Électrique*, t. XXI, p. 56.

saturés et l'étude de ces solutions est ici d'un grand intérêt puisque c'est elle seule qui permettra d'abord de jeter un regard sur les voies suivies par la nature lors de la formation de ces immenses couches de sel.

La fabrication d'une liqueur saturée est, en général, une opération facile, tant qu'il ne s'agit que de cas simples, c'est-à-dire d'un seul sel. Il suffit d'agiter convenablement à température constante une quantité suffisante du corps avec de l'eau. L'auteur se sert d'un agitateur hélicoïdal (fig. 1) actionné par une turbine ou un moteur à air chaud; pendant toute la durée de l'agitation, la solution est plongée dans un thermostat, à température invariable. La saturation se fait; on abandonne pendant quelque temps la liqueur à elle-même, sans agiter, on en pipette une certaine quantité en filtrant (à travers un petit tampon de coton), enfin on procède à l'analyse chimique.

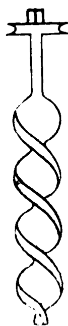


Fig. 1.

Dans les cas plus compliqués la saturation est très longue à s'établir; il faut souvent attendre plusieurs centaines d'heures en agitant sans cesse. Il existe en effet des corps qui ne donnent que fort lentement des solutions saturées, mais il faut ajouter que toutes les solutions ne sont pas simplement formées du mélange d'eau et des sels qu'on a dissous.

La solution saturée de sulfate de magnésie, chlorure de magnésium, sel marin et carnallite (chlorure double de magnésium et de potassium) possède à 25° la composition suivante :

H^2O	1000	molécules
NaCl	0,5	»
KCl	1	»
$MgCl^2$	100	»
$MgSO^4$	5	»

On peut la considérer comme la somme de ses constituants; la carnallite exige en effet 1 molécule $MgCl^2$ pour 1 molécule KCl, il reste donc 99 molécules $MgCl^2$ qui sont dissoutes telles quelles, ainsi que celles de NaCl et de $MgSO^4$.

Ici les choses sont simples ; la solution saturée est la somme de l'eau et des sels dissous, elle est *congruente* suivant l'expression de Meyerhoffer, la saturation se fait avec une facilité relative, puisque chaque sel se dissout, pour ainsi dire, comme s'il était seul.

Dans d'autres cas il n'en est pas de même ; prenons par exemple la solution saturée de sulfate de potasse et d'un sel double formé de sulfate de potasse et de sulfate de magnésie $K^2 Mg (SO^4)^2, 6 H^2O$. Voici sa composition à 25°.

H^2O	1000	molécules
K^2SO^4	16	»
$MgSO^4$	22	»

On s'attendrait, d'après la formule du sel double, à trouver plus de molécules $K^2 SO^4$ que de molécules $MgSO^4$, or l'expérience donne précisément l'inverse; pour 22 molécules $MgSO^4$ il n'y en a que 16 de $K^2 SO^4$. Cette solution saturée est *incongruente*.

On n'atteint ici la saturation que lorsque, à la suite d'une transformation chimique quelconque, il n'y a plus de différence entre la composition de la solution finale et la somme des composants. Or, nous savons que ces réactions entre les corps solides et l'eau exigent souvent beaucoup de temps, c'est seulement quand elles sont achevées que la saturation peut avoir lieu. Dans ces conditions il faut faire de temps à autre une prise d'essai et l'analyser ; si la saturation est longue à s'établir on perd de cette façon de notables quantités de substance ; il arrive souvent aussi que ces analyses ne sont pas très simples.

Ainsi se pose le problème de suivre la composition de la liqueur sans avoir besoin d'analyses et sans sacrifier de produit, l'analyse définitive n'étant faite qu'après que la saturation est atteinte.

L'auteur eut recours d'abord à la méthode des densités ; il se servit de la pipette de Landolt (fig. 2) munie d'un robinet à sa partie inférieure et que l'on peut fermer avec un chaperon rodé ; le col de la pipette est gradué. Après l'avoir préalablement chauffée à 25° on la remplit par aspiration, la liqueur passant à travers un petit tube qui contient un tampon de ouate. On détermine ainsi en même temps le poids et le volume, c'est-à-dire la densité de la solution ; on lui restitue la liqueur après chaque opération et on recommence par exemple toutes les dix heures jusqu'à ce qu'on ait atteint un nombre constant.



Fig. 2.

Il est des cas où cette méthode laisse à désirer, deux solutions pouvant avoir la même densité et cependant posséder une composition différente. Un peu de chlorure de magnésium en plus compense un peu de sulfate de magnésie qui est en moins. Il fallait donc trouver un autre procédé.

M. van t'Hoff s'adressa avec succès à la méthode de la conductibilité électrique. L'appareil est représenté (fig. 3). On voit à gauche l'éprouvette

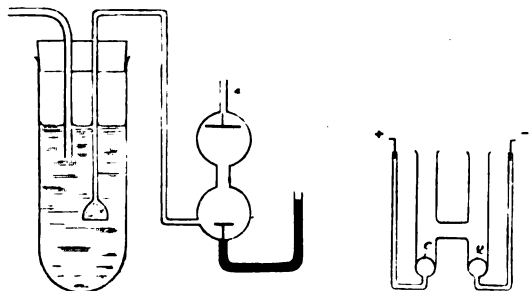


Fig. 3 et 4.

qui contient la solution saturée, à droite la disposition permettant de prendre la résistauce, l'ensemble de l'appareil peut être plongé dans le thermostat et maintenu à 25°. Pour faire la prise d'essai, il suffit d'aspirer en *a*, en filtrant toujours à travers du coton. Les lectures faites on refoule le liquide dans le tube à essai et l'on recommence dix heures après.

Les nombres suivants montrent combien cette méthode est plus avantageuse que celle des densités. On a employé :

1° Une solution saturée de chlorure de sodium ;

2° Une solution saturée des chlorures de potassium et de sodium ;

3° La même solution renfermant de la carnallite ;

4° Une solution saturée de chlorures de sodium, de magnésium et de carnallite ; et enfin

5° la plus compliquée de toutes, une solution saturée de chlorure de sodium, de chlorure de magnésium, de carnallite et de sulfate de magnésie.

Les densités sont, dans les deux cas extrêmes, 1,1978 et 1,3513 présentant ainsi une différence notable. Les nombres qui représentent les résistances sont 179,5 et 654,5. Ainsi dans ce cas particulier, la densité ne s'accroît que de 12 p. 100, tandis que la résistance devient quadruple. La méthode de la conductibilité est donc bien supérieure à celle des densités pour juger de la saturation.

Le procédé n'est pourtant pas parfait, et ici encore, comme pour les densités, il peut arriver que par compensation deux solutions aient la même conductivité et que la composition soit cependant différente.

Aussi l'auteur s'est-il adressé finalement à la méthode électrométrique basée sur la mesure des différences de potentiel. La théorie permet de prévoir que si la concentration de l'un des ions (SO^4, Cl, Na, K, Mg) vient à varier dans la solution il se produira une différence de potentiel entre cette solution et celle d'une autre liqueur qui renferme l'ion à une concentration déterminée.

La figure 4 représente le petit appareil qui permettra de faire les mesures. L'électrode Q est du mercure recouvert de chlorure mercureux, l'électrode C (électrode à calcium de Luther) est un alliage de plomb recouvert d'un mélange de sulfate de plomb et de sulfate de chaux. La méthode n'a pas encore été suffisamment expérimentée pour qu'on puisse déjà publier des résultats.

Sur l'état actuel de l'industrie électrochimique (1). Communication du professeur **W. Borchers**, d'Aix-la-Chapelle :

M. Borchers avait été chargé de ce travail par le Congrès de 1898. Pour les mener à bonne fin il a dû demander de tous côtés un grand nombre de renseignements dont quelques-uns ne lui sont pas parvenus. Pour ce motif, et aussi à cause du très grand nombre des petites usines on a dû laisser de côté dans les grands tableaux qu'on trouvera plus loin trois grandes branches de l'industrie électrochimique, à savoir l'industrie des accumulateurs, celle de la galvanoplastie et celle du blanchiment électrolytique. Un fait qui démontre que cette dernière industrie a déjà atteint un développement considéra-

(1) Cette communication doit être complétée par quelques additions et remarques qui ont paru dans ce journal: t. XXII, p. 212 et 231), n° du 10 février 1900, Article J. Reyval et *Revue* W. Borchers. Dans cette dernière revue, une erreur s'est glissée dans le tableau III : la dernière colonne de ce tableau donne, non pas la valeur des installations comme il est dit dans le texte anglais, mais la *valeur des produits fabriqués*. N. d. l. R.

MAISONS QUI ONT PROCÉDÉ A L'INSTALLATION	PROPRIÉTAIRES ACTUELS	PUISSANCE UTILISÉE Chevaux.
AFRIQUE. — TRANSVAAL. — *Or*.		
Rand Central Reduction Co. Johannesburg, Transvaal. Système Siemens et Halske.	Balmoral Goldmin. Co.	455 chevaux (v), 44 dynamos.
	Bonanza Gold Min. Co.	
	Crown Reef.	
	Crown Deep.	
	Ferreira.	
	Fimberg Gold Min. Co.	
	Glynin Lydenburg.	
	Geldenhuis Deep.	
	Geldenhuis Estate.	
	Lancaster Gold Min. Co.	
	Main Reef, Consolidated.	
	May Consolidated.	
	Nourse Deep.	
	Rand Central Reduction Co.	
	Robinson and Co.	
	Rose Deep.	
	Simmer and Jack.	
	York Gold Min. Co.	
	Treasury.	
	Van Ryn.	
	Village Main Reef.	
	Worcester Gold Min. Co.	
	Witwatersrand Gold Min. Co.	
	Transvaal Gold Min. Estates.	
AMÉRIQUE. — CANADA. — *Carbure de calcium*.		
	Calcium Carbid Co, Three Rivers, près Québec (Canada).	?
	Th. L. Wilson, Sainte-Catherine (Canada).	1 500
ÉTATS-UNIS. — *Aluminium*.		
	Cowles, Electric Smelting and Aluminium Co, Lockport N. Y. U. S. A.	2 000 (1)
Pittsburgh Reduction Co.	Pittsburgh Reduction Co.	2 500 (g)
Westmoreland Co et Niagara Co.	New Kensington Pa et Niagara Falls N. Y. U. S. A.	2 500 (v)
		1 900
Argent.		
Mœbius.	Pennsylvania Lead Work, Pittsburgh	20
	Saint-Louis Smelting and Refinining Co (Saint-Louis).	15
	Guggenheim Bros Amboy.	15
Cuivre.		
Baltimore Copper Smelting and Rolling Co.		1 300 (v)
Anaconda Mining Company.		4 000 (v)
Nichols Chemical Company.		1 200 (v)

MAISONS QUI ONT PROCÉDÉ A L'INSTALLATION	PROPRIÉTAIRES ACTUELS	PUISSANCE UTILISÉE Chevaux.
	Lake Superior Carbide Co, Chicago-Ill. Usine : Saulte Sainte Marie, Mich., U. S. A.	1 500 (1)
Ferrosilicium et ferrochrome.		
	Willson Aluminium Co, usines à Holcomb Rock, Va et Kanauka Falls, West Va.	(V. Carbure).
EUROPE. — ALLEMAGNE. — *Argent*.		
	Königl. Hüttenamt Friedrichshütte Tarnowitz.	
Nord deutsche Affinerie, Hambourg (système Wohlwill).	Norddeutsche Affinerie, Hamburg.	5 (v)
Siemenssche Berg und Hüttenwerke.	A. und W. von Siemens.	
Kedabey, près Kalakend, Caucase.	Deutsche Gold und Silberscheideanstalt.	20 (v)
Bismuth.		
Norddeutsche Affinerie, Hambourg		
Cuivre.		
Elektricitäts A. G. (ci-devant W. Lahmeyer und Co), Francforts M	Allgemeine Electrometallurgische Gesellschaft : Pappenburg sur Ems.	
Helios, Cologne (installations électriques).	Elmore, Metall A. G. Schladern, sur Sieg.	200
Königl. Hüttenamt; Altenau (Harz)	Königl. Hüttenamt Altenau (Harz).	17 (2)
Siemens und Halske (Berlin).	Königl. u. Herzogl. Comm. Hüttenamt Oker.	100 (3)
Id.	Mansfelder Gewerkschaft, Eisleben.	30 (v)
Norddeustsche Affinerie, Hambourg (système Wohlwill).	Norddeutsche Affinerie, Hambourg.	80 (v)
C. Schreiber, Burbach, Siegen.	C. Schreiber, Burbach, Siegen.	8 (4)
Siemens und Halske.	Siemens und Halske (diverses autres usines).	300
Id.	Stadtberger Hütte, Niedermarsberg.	22
Étain.		
	Th. Goldschmidt, Essen.	Chaque année 10 000 t. de déchet de fer blanc.
	v. d. Linde, Chemische Fabrik Uerdingen.	
	Schramm, Chemische Fabrik, Duisburg.	
Nickel.		
Elektricitats A. G (ci-devant W. Lahmeyer und Co). Francforts M	Allgemeine Elektrometallurgische Gesellschaft, Pappenburg, s. Ems.	
C. Schreiber, Burbach, Siegen.	C. Schreiber, Burbach, Siegen.	8 (5)

New England Electrolytic Copper Co.		750 (v)
Bidgeport Copper Company.		300 (v)
Balbach Smelting and Refining Co.		400 (v)
Guggenheim Smelting Co.		600 (v)
Boston and Montana Copper and Silver Co.		1 200
Irvington Smelting and Refining Co		200
Chicago Copper Refining Co.		500
Omaha and Grant Smelting Co.		10
	Nickel.	
	Balbach Smelting and Refining Co Newack N. J. U. S. A.	
	Canadian Copper Co, Cleveland, Ohio U. S. A. (usine d'essai).	
	Or (voir argent et cuivre).	
	Phosphore.	
Parker et Readman.	Albright, Wilson and Co.	
	American. Work, Niagara Falls, N. Y. U. S. A.	300
	Silicium (cristallisé et amorphe, à 98 p. 100 Si).	
	Willson Aluminium Co. Usines à Holcomb Rock, Va et Kanauka Falls West, Va.	(V. carbure).
	Sodium.	
Système Castner.	Niagara Electrochemical Company, Niagara Falls, N. Y. U. S. A.	600
	Alcalis et chlore.	
Le Sueur.	Electrochemical Co, Rumford Falls Me. U. S. A.	1 200
Système Castner.	Mathiesson Alcali Works, Niagara Falls, N. Y. U. S A.	2 000
Système Blumenberg.	Chemical Construction Co, Niagara, U. S. A.	500 (4)
	Carborundum.	
Système Acheson.	American Carborundum. Co, Niagara, U. S. A.	1 000
	Carbure de calcium.	
	Acetylene Light and Heat and Power Co, Niagara Falls, N. Y. U. S. A.	4 000 (3)
	American Carbide Company, New River, près Hinton, West Virginia, U. S. A.	? (4)
	Cowles Electric Smilting and Aluminium Co, Lockport, N. Y. U. S. A.	2 000
	Illinois Acetylene Co, usines à Appleton, Wis. U. S. A.	200

[1] Maintenant employés pour carbure. — [2] 4 000. — [3] 5 000. — [4] 12 000 chevaux disponibles

	Or.	
Norddeutsche Affinerie, Hambourg (système Wohlwill).	Deutsche Gold u. Silberscheideanstalt, Francfort, s M.	
Norddeutsche Affinerie, Hambourg (système Wohlwill).	Norddeutsche Affinerie, Hambourg.	
	Oxygène et hydrogène.	
Elektricitäts A. G. Schuckert und Co, Nuremberg.	W. C. Heräus, Hanau.	
	Phosphore.	
	Chemische Fabrik Griesheim.	? (v)
	Coignet et fils, Lyon (France).	? (v)
	Silicium.	
Elektricitäts A. G. (ci-devant W. Lahmeyer and Co Francforts M. installations électriques).	Fabrik electrometallurgischer Produkte Bockenheim, près Francfort s. M.	300 (v)
	Sodium.	
Système Castner.	Elektrochemische Fabrik Natrium Rheinfelden.	
Elektrochemische Werke, Bitterfeld.	Elektrochemische Werke, Bitterfeld.	? (6)
Elektricitäts A. G. (ci-devant W. Lahmeyer und Co), Francforts M (installations d'usines, système Castner).	Farbwerke (ci-devant Meister, Lucius et Brüning), Höchst, s. M.	150 (v)
	Zinc.	
Elektricitäts A. G. (ci-devant W. Lahmeyer und Co), Francforts M. installations d'usines, système Höpfner)	Chemische Fabrik, Fürfurt s. L.	Fermée pour le moment.
Id.	Allgemeine elektrometallurgische Gesellschaft, Papenburg, s. Ems.	
Système Dieffenbach.	Elektrochemische Zinkwerke, Duisburg.	Fermé pour le moment.
Elektricitäts A. G. (ci-devant Schuckert and Co), Nüremberg, qui fournit les dynamos.	Königl. Hüttenamt Friedrichshütte, Tarnowitz.	5 (7)
	Norddeutsche Affinerie, Hamburg.	
	Métaux divers.	
Elektricitäts A. G. (ci-devant W. Lahmeyer und Co), Francforts M	Fabrik elektrometallurgischer Produkte, Bockenheim-Francfort s. M.	
Elektrochemische Werke, Bitterfeld.	Elektrochemische Werke Bitterfeld.	
	Aluminium und Magnesium Fabrik Hemelingen.	

[1] 3 000 chevaux disponibles. — [2 3 5] et [7] Ces usines possèdent également des machines à vapeur de secours en cas de manque d'eau. — [6] 3 000 chevaux disponibles.

MAISONS QUI ONT PROCÉDÉ A L'INSTALLATION	PROPRIÉTAIRES ACTUELS	PUISSANCE UTILISÉE Chevaux.
	Alcalis et chlore.	
	A G. Chemische Fabrik Buckau. Fabrik Ammendorf.	
Eektricitäts A. G. (ci-devant Schukert und Co), Nuremberg.	Badische Anilin und Soda Fabrik, Ludwigshafen.	1 300 (v)
Id.	Konsolidierte Alkaliwerke, Westeregeln.	1 300 (v)
Système Castner-Kellner.	Deutsche Solvay Werke, A. G. Bernburg.	1 000 (v)
Elektrochemische Werke, Bitterfeld.	Elektrochemische Werke Bitterfeld.	3 000 (v)
	— — Rheinfelden.	3 400
A. G. Elektron, Francfort, s. M.	A. G. Elektron, Francfort, s. M.	
Elektricitäts A. G. (ci-devant Schukert und Co). Nuremberg.	Usines de Griesheim. — Bitterfeld. — Ludwigshafen.	4 000 (v)
Laugenverdampfsystem, L. Kaufmann (Aix-la-Chapelle).	Verein für chemische Industrie : Francfort, s. M. Usines de Schenkenzell (Schwarzwald).	1 000
Siemens und Halske, Berlin, et F. Schikau, Elbing.	Vereinigte chemische Fabriken, A. G. Leopoldshall.	250 (v)
	Carborundum.	
Système Acheson.	Carborundum Werke, Dresde.	400 (v)
	Carbure de calcium.	
Système Héroult. Dynamos : Fabr. Oerlikon. Concasseurs : Fr. Krupp, Gruson werk, Magdebourg-Buckau.	Aluminium industrie, A. G. Rheinfelden.	5 040
Elektrochemische Werke, Bitterfeld. Concasseurs : Fr. Krupp, Grusonwerk. Buckau-Magdebourg.	Elektrochemische Werke-Rheinfelden. Usines près Rheinfelden.	3 400
	A. G. für Holz industrie Lechbruck. Portland cement Lauffen a. N. Usines d'essais à Berlin, Francfort s. M., Neheim, etc. Schilling und Gutzeit, Guttstadt près Wormditt.	
	Céruse.	
A. G. Helios, Cologne (installations électriques).	Elektrochemische Industrie-Gesellschaft Dellbrück, près Cologne.	
	ANGLETERRE. — *Aluminium.*	
Système Héroult. **Turbines : Escher Wyss et Co,** Zurich. Dynamos : fabriques d'Oerlikon.	British aluminium Company, London. Usines à Foyers (Ecosse).	2 000 [1]

MAISONS QUI ONT PROCÉDÉ A L'INSTALLATION	PROPRIÉTAIRES ACTUELS	PUISSANCE UTILISÉE Chevaux.
	Alcalis et chlore.	
Siemens und Halske, Vienne (système Kellner).	Consortium für elektrochemische Industrie, Golling.	200 [1]
Elektricitäts A. G. (ci-devant W. Lahmeyer and Co, Francfort s. M.)	Oesterr. Sodafabrik Hirnschau.	
Elektricitäts A. G. (ci-devant Schuckert und Co, Nuremberg.	Bosnische Elektricitäts A. G. Jaice (Bosnie).	1 500 [2]
	Carborundum.	
Acheson.	Carborundum fabrik, Alt-Benatek.	
	Carbure de calcium.	
Elektricitäts A. G. (ci-devant Schukert und Co, Nuremberg.	Acetylen-gaz A. G. Vienne. Fabrique à Meran.	[3]
	Allg. Carbid und Acetylen Gesellschaft. Usine à Matrei (Tyrol).	1 500
	Aluminium Industrie A. G. Neuhausen. Usines à Lend, près Gastein.	8 000
	Bosnische Elektricitäts A. G. Jaïce, Bosnie (Autriche).	8 000
Siemens und Halske, Vienne.	Krasper, Lobhowitz (Autriche).	450
	Societa veneta di elettrochimica, Taternion (Carinthie).	
	A. de Supak, Sebenico.	600
	BELGIQUE. — *Alcalis et chlore.*	
	Solvay and Co. Usine à Jemeppe.	1 000 (v)
	ESPAGNE. — *Alcalis et chlore.*	
Elektricitäts A. G. (ci-devant Schuckert and Co), Nuremberg.	Sociedad Electroquimica de Flix, Barcelone.	2 100
	Carbure de calcium.	
Concasseurs : Fr. Krupp, Grusoneark, Magdebourg-Buckau.	Mas, Revertes y Co. Barcelone.	
Elektricitäts A. G. (ci-devant Schuckert und Co), Nuremberg.	Société des carbures métalliques, Paris. Usine à Berga (Espagne).	2 500 [4]
	FRANCE. — *Aluminium.*	
Ingénieur Paul Héroult.	Société métallurgique française. Usine à La Praz.	7 500 [5]
	Société métallurgique française. Usine à Sordrettes.	? [6]
	Société des produits chimiques d'Alais et la Camargue. Usine à Calypso.	2 000
Minet ?	Société industrielle d'aluminium. Usine à Saint-Michel.	4 000

	Cuivre.	
Procédé Dumoulin et procédés spéciaux.	T. Bolton and Sons, Widnes et Froyhall.	
	Broughton Copper Co, Manchester, England.	
	Electrical Copper Co, Widnes, England.	750 (v)
	Vivian and Sons, Swansea, England.	
	Étain.	
	Bolton, Froghall England.	
	Sodium.	
Système Castner.	Aluminium Co, Oldbury, England.	
	Bolton, Froghall, England.	
Procédé Wöhler avec four électrique (Readman-Parker).	Albright und Witson, Oldbury, England. Usine à Wedensfield.	
	Zinc.	
Système Höpfner.	Brunner, Mond and Co, Northwich, England.	
Système Ashcroft.	Sulphide Corporation Ld. London.	
	Alcalis et chlore.	
Système Castner-Kellner.	Castner-Kellner Alcali Company, Weston Point (Runcorn), England.	2 000 (v)
Système Rhodin.	Commercial development Corporation, London.	
Système Richardson et Holland.	Electrochemical Co Ld, St. Helens, Lancashire, England.	
Hargreaves and Bird.	General electrolytic Parent Co, Widnes, England.	
Système Hargreaves.	Bowman-Thomson and Co, Northwich, England.	
	Carbure de calcium.	
	Acetylene Illuminating Co, London Usines : Foyers (Ecosse).	1 000 (²)
Concasseurs : Fr. Krupp, Grusonwerke, Magdebourg-Buckau.	Usines de North Wales, England, en construction.	(³)
	Ashton, Frost and Co, Blackburn, England.	
	Usines de Ingleton, England.	200
	Creadly and Heath, Birmingham.	400 (v)
	Autriche. — *Cuivre.*	
Siemens und Halske, Vienne.	K. K. Hüttenwerwaltung, Brixlegg (Tyrol).	8 (v)
	F. Mazzurana, Trente.	40
	Stefanshütte, près Iglo (Hongrie).	
	Witkowitzer Bergbau und Eisenhüttenwerkschaft, Witkowitz.	15 (v)

[1] 5 000. — [2] 2 000. — [3] 4 500 chevaux disponibles.

	Cuivre.	
Système Thofehrn.	J. Roux, Marseille.	
	Grammont, Pont de Cheruy.	
	Société des cuivres, Eguilles (Vaucluse).	
Système Thofehrn.	Richard Radisson et Co (⁷).	
	Alcalis et chlore.	
	A. G. Electron, Francfort s. M. Usine à La Motte Brun.	3 000
	Fives-Lille. Usine à Moûtiers.	? (⁸)
Hargreaves et Bird.	Société électrochimique de St. Gobain.	
Elektricitäts A. G. (ci-devant Schuckert und Co, Nuremberg).	Société industrielle de produits chimiques, Paris.	
	Société des Soudières électrolytiques. Usine à Gavet s. Romanche.	3 000 (⁹)
	Société Volta. Usine à Moûtiers.	? (¹⁰)
Machines : usine d'Oerlikon. — Société alsacienne, Belfort. — Schneider et Co, Creusot. Chacune 4 dynamos de 800 chevaux.	Corbin-Bergès et Co, Chede (H.-S).	9 600 (¹¹) 1 500 (Carbure). 8 100
	Société d'électrochimie, Paris. Usine à St-Michel de Maurienne (Savoie).	4 500
	Carborundum.	
	Compagnie internationale de carborundum, La Bathie (Savoie).	1 250
	Carbure de Calcium.	
	Bertolus Charles. Usine Bellegarde (Rhône).	2 400
	Compagnie française des carbures de calcium. Usine, Séchilienne (Isère).	1 200
Elektrochemische Werke, Bitterfeld.	Compagnie générale d'électrochimie. Usine Bozel (Savoie).	4 000
	Compagnie des Salins du Midi. Usine : Salies du Salat, s. Salat (soc. Garonna).	300
Voir plus haut : alcalis, etc.	Corbin et Cie. Usine Chedde s. l'Arve (Haute-Savoie).	1 500 (¹²)
	Gayral. Usine à Albas s. Lot (Lot).	450
	Omnium Lyonnais. Usine à Arudy sur le Gave d'Ossau (Basses-Pyrénées).	2 000
	L. Robert. Usine à la Bathie-l'Arbine (s. l'Arbine). Savoie.	1 250
	Rochettes frères. Usine à Epierre s. le torrent des Fourneaux. Savoie.	1 200
	Société de carbure. Usine à la Bastide-de-Levis, s. Tarn (Tarn).	350
	Société des carbures métalliques, Paris. Usine à N. D. de Briançon (Savoie).	2 000
	Société électrochimique du Giffre. Usine à Bellegarde s. Valserine (Ain).	500

[1] 4 500. — [2] 9 500. — [3] 2 500. — [4] 5 000. — [5] 13 000. — [6] 15 000 chevaux disponibles. — [7] Il faudrait ajouter ici la Société française d'électrométallurgie. Usine principales à Dives (Calvados). Spécialité de tubes de cuivre sans soudure (Réd.) — [8] 6 000. — [9] 6 000. — [10] 12 000. — [11] 12 000. — [12] 12000 chevaux disponibles.

MAISONS QUI ONT PROCÉDÉ A L'INSTALLATION	PROPRIÉTAIRES ACTUELS	PUISSANCE UTILISÉE Chevaux.
	Société électrométallurgique française. Usine à Froges (Isère).	600
	Société électrométallurgique française. Usine à Le Pratz (Haute-Savoie).	(V. Alumin.).
	Société électrométallurgique française. Usine à Serres (H-A), sur le Buëch.	640
	Société électrométallurgique de Giffre. Usine de Mieussy (H.-S.), sur le Giffre	10 000
	Société de l'acétylène. Usine à Saint-Béron (Savoie).	3 000
	Société des forces motrices du Haut-Grésivaudan. Usine à Chapareillan (Isère), sur le Cernon.	800
	Société hydro-électrique des Pyrénées. Usine : le Castelet (Ar.), sur l'Ariège	2 500
	Société électrochimique de Crampagna Usine à Crampagna (Ar.), sur l'Ar.	600
	ITALIE. — *Cuivre.*	
	Livourne.	35
	Carbure de calcium.	
Dynamos : usines d'Oerlikon.	Cav. F. Giorgi, san Marcel.	700
Turbines : P. Veraci : Florence. — Dynamos : Usines d'Oerlikon. Fours à carbure : Siemens et Halske, Berlin. — Moulins : Speyerer, Berlin.	Ing. Carlo Mongini. Usine à Poggio Misteto (district de Rieti).	150 (1)
Concasseurs : Fr. Krupp, Grusonwerk, Magdebourg-Buckau.	Societa italiana del Carburo di Calcio, Rome. Usines aux chutes Le Marmore, près Terni.	14 000 (2)
Fours Regnoli.	Usines d'Ivrea (Italie).	1 000
	NORVÈGE. — *Carbure de calcium*	
Dynamos : comp. de l'Indust électrique, Genève, et Brown, Boverie und Co, Baden.	The Kellner Partington P. P. Co. Ld. Borregaard, Sarpsborg (Norvège).	3 000 (3)
Elektricitäts A. G. (ci-devant Schuckert et Co), Nuremberg. Elektrochem. Werke, Bitterfeld.	Aktieselskabet Hafslund, à Hafslund, près Sarpsborg (Norvège).	10 000 (4)
Concasseurs : Fr. Krupp, Grusonwerk, Magdebourg-Buckau.	Aktieselskabet Karbidindustrie. Usine à Sarpsborg (Norvège).	1 500
	RUSSIE. — *Cuivre.*	
Siemens'sche Berg und Hüttenwerke, Kedabeg près Kalakent (Cauc.)	K. A. et W. v. Siemens.	65
	Alcalis et chlore.	
Elektrochemische Werke Bitterfeld.	A. G. « Elektricität ». Varsovie. Fabrique à Zomskowice.	1 500 (v)
	Carbure de calcium.	
Elektrochemische Werke Bitterfeld.	A. G. « Electricität », Varcovie. Fabrique à Zomskovice.	1 500 (v)
Elektricitäts A. G. (ci-devant Schuckert und Co), Nuremberg.	Hämekosky Aktiebolag, à Wiborg (Finlande).	2 000 (5)

1 750. — 2 27 000. — 3 10 000. — 4 20 000. — 5 6 000 chevaux disponibles.

MAISONS QUI ONT PROCÉDÉ A L'INSTALLATION	PROPRIÉTAIRES ACTUELS	PUISSANCE UTILISÉE Chevaux.
	SUÈDE. — *Alcalis et chlore.*	
Système Gall et Montlaur. Evaporation : système L. Kaufmann, Aix-la-Chapelle.	Superphosphat A. G., Mansbo (Suède).	
	Carbure de calcium	
Gustave de Laval, Stockholm. Concasseurs : Fr. Krupp, Grusonwerk, Magdebourg-Buckau.	A. G. de Lavals Electrica Smält Ugen. Trollhätten (Suède).	? (2)
	SUISSE. — *Aluminium.*	
Dynamos : usines d'Oerlikon.	Société de l'aluminium, à Neuhausen (Suisse).	
Turbines : Escher, Wyss et Co, Zurich.	Usine de Neuhausen.	4 500
	Alcalis et chlore.	
Dynamos : usines d'Oerlikon.	Gesellschaft für elektrochemische Industrie, Turgi (Argovie).	500
Soc. d'Electroch. Paris, système Gall et Montlaur.	Société d'électrochimie, Paris. Usine à Vallorbes (Suisse).	3 000
Evaporation : système L. Kaufmann, Aix-la-Chapelle.	La Volta suisse, Vernier près Genève.	7 000
	Usines de produits chimiques, Monthey	1 200
	Carbure de calcium.	
Dynamos : usines d'Oerlikon. Concasseurs : Fr. Krupp, Grusonwerk, Magdebourg-Buckau.	Société de l'aluminium, Neuhausen (S.).	4 500
Elektricitäts A. G. (ci-devant Schuckert und Co), Nuremberg.	Elektricitäts Werk Klosters.	? (2)
Id.	Elektricitäts Werk Lonza à Gampel (Suisse).	7 500
Transformateurs : usines d'Oerlikon. Concasseurs : Fr. Krupp, Grusonwerk, Magdebourg-Buckau.	Société suisse pour l'industrie électrochimique. Berne. Usines : Luterbach (près Soleure).	700
	Et Thusis (Grisons).	3 500 (3)
Concasseurs et malaxeurs : Fr. Krupp, Grusonwerk, Magdebourg-Buckau.	Société d'électrochimie. Usine du Day, Vallorbes (Suisse).	
	Société Genevoise d'électricité et de produits chimiques. Usine de Vernier, près Genève (appartenant à la Société la « Volta »).	7 000
Siemens und Halske, A.G. Berlin.	A. G. Elektricitäts Werke Wynau.	
Concasseurs : Fr. Krupp, Grusonwerk, Magdebourg-Buckau.	Siemens und Halske A. G. Berlin. Usine à Wynau (Suisse).	750 (4)
?	Via Mala (Suisse).	? (5)
Transformateurs : usines d'Oerlikon. Fours électriques : Deutsche Gold u. Silberscheideanstalt, (Ci-devant) Rössler Francfort s. M. Concasseurs : Fr. Krupp, Grusonwerk, Magdebourg-Buckau.	Walliser Industrie-Geselschaft. Zurich. Usine à Vernayaz.	900 (6)

1 50 000 dont 25 000 pour carbure. — 2 1 000 ?. — 3 6 000. — 4 1 500. — 5 6 000. — 6 1 500 chevaux disponibles.

ble, c'est que les seules maisons Siemens et Halske, de Berlin et de Vienne, et la Société d'électricité, ci-devant Schuckert et C[ie] à Nuremberg, ont fait des installations dont la puissance totale atteint plus de 1000 chevaux.

On compte aussi plusieurs milliers d'établissements galvanotechniques.

Il fut difficile d'obtenir des renseignements relatifs aux applications de l'électrochimie organique ; on sait cependant que le raffinage électrolytique du sucre est déjà bien perfectionné et que quelques usines ont des installations de 500 et 1 000 chevaux.

Les tableaux des pages 112, 113, 114, 115 et 116 résument les renseignements obtenus sur la puissance utilisée dans les installations électrochimiques. Les lettres (*v*) et (*g*) placées à la suite du nombre donnant la puissance utilisée indiquent que cette puissance est fournie par des moteurs à vapeur ou à gaz. Lorsque les nombres ne sont suivis d'aucune indication, c'est que la puissance est fournie par des moteurs hydrauliques. Dans ce cas, et quand la puissance utilisée est inférieure à la puissance disponible, cette dernière est indiquée en renvoi.

Les tableaux II et III (1) résument le nombre et la valeur des produits que les pays énumérés précédemment sont susceptibles de fabriquer. Pour dresser ce tableau on a toujours pris les chiffres les plus bas, les rendements pratiques les plus probables. Les diverses publications présentent en effet des indications très contradictoires et pour des raisons faciles à comprendre, les industriels ne parlent pas volontiers de ces questions.

Les données relatives à l'aluminium sont particulièrement divergentes ; ainsi l'auteur calcule d'après les nombres publiés par la Société de Neuhausen et de la Praz (procédé Héroult) une production de 182,5 kg d'aluminium par cheval-an. La Bristish Aluminium C° atteindrait 365 kg et la Pittsburgh Reduction Company irait jusqu'à 650 kg. Or les poids d'aluminium que l'on peut produire théoriquement avec divers voltages s'élèvent aux chiffres suivants :

Pour	3 volts	723	kg
»	4	» 543	»
»	5	» 434	»
»	10	» 217	»

(1) Publiés dans le numéro du 10 février 1900, p. 232 et 233 (*Écl. Élect.* t. XXII).

Ainsi la Pittsburgh Reduction C° travaillerait avec moins de 4 volts, la Bristish Aluminium C° se servirait de 4 à 5 volts, enfin les autres usines Héroult emploieraient plus de 10 volts.

En ce qui concerne les autres produits, les données sont moins divergentes, si bien que les chiffres suivants présentent quelque garantie d'exactitude. Un cheval effectif fournit par an environ :

16 tonnes de cuivre ;

22 tonnes d'argent ;

1,6 tonne de soude caustique à 70 p. 100, plus 3,5 tonnes de chlorure de chaux à 38-40 p. 100 ;

1,8 tonne de potasse caustique à 80 p. 100, plus 3,5 tonnes de chlorure de chaux à 30-40 p. 100 ;

0,5 tonne de chlorate de potasse ;

1 tonne de carbure de calcium ;

0,6 tonne de carborundum.

Les diverses usines qui fonctionnent déjà et celles dont la construction est projetée seraient par conséquent capables de produire les quantités :

	POIDS en tonnes	PRIX de la tonne	VALEUR totale
		fr.	fr.
Aluminium . . .	12930	2625	33 941 000
Argent	1475	101250	149 344 000
Cuivre	166360	1875	311 925 000
Nickel	182,5	3125	570 300
Or	21,32	3 500 000	74 620 000
Phosphore.	?	—	—
Sodium	260	5625	1 462 500
Zinc	?	—	—
Carborundum . . .	1585	1250	1 981 000
Carbure de calcium	256244	375	96 071 000
Céruse	2500	562	1 406 000
Chlorate de potasse	11350	818	9 293 000
Chlorure de chaux 38 à 40 p. 100 . .	225000	125	28 125 000
Potasse caustique à 80 p. 100	17280	462	7 992 000
Soude caustique à 70 p. 100	82060	191	15 694 000

Le tableau mentionné plus haut montre quelle est la participation des divers pays.

Il fait voir qu'au point de vue des forces naturelles, la France paraît être dans une situation très heureuse. Provisoirement elle dépasse même les États-Unis. Toute la frontière suisse et italienne, avec la Savoie et le Dauphiné jusqu'au nord de la Provence, est sillonnée de montagnes de premier ordre d'où sortent des fleuves abon-

dants et qui possède par place des chutes considérables. Vis-à-vis ces montagnes se trouvent les Cévennes qui donnent naissance à la Loire, et à ses nombreux affluents ainsi qu'aux plus importants de la Garonne ; enfin à la frontière espagnole s'élèvent les Pyrénées. Il est probable que des trésors aussi abondamment semés par la nature ne tarderont pas à être rapidement exploités par un peuple entreprenant comme la nation française.

L'Allemagne a été traitée d'une façon plus parcimonieuse : en y comprenant la vapeur elle n'occupe que le huitième rang.

Cet ordre est changé par contre, si nous rangeons les pays d'après la valeur de leur production. Les Etats-Unis avec leur immense richesse minérale arrivent en tête, la seconde place est occupée par l'Allemagne, la troisième seulement par la France.

Dans cette évaluation l'auteur n'a pu tenir un compte suffisant de la quantité de cuivre raffiné en France et en Angleterre, mais il faut noter aussi qu'en Allemagne, où l'industrie chimique est si développée, il y a également beaucoup d'usines qui ne publient pas leur production.

L'auteur se place maintenant à un autre point de vue assez spéculatif, et dans le tableau suivant il range les corps d'après la quantité d'énergie qu'ils sont susceptibles de produire.

	PRIX DU KILOG.	POUR 1 KILOGRAMME			PRIX DE	
		Produit formé	Calories	Chev.-h.	1000 calor.	1 chev.-h.
	fr.				fr.	fr.
Aluminium	2,62	Al^2O^3	6274	9,88	0,41	26,56
Hydrogène	—	H^2O	34200	53,86	—	—
Magnésium	25,00	MgO	6000	9.46	4,16	264.27
Phosphore	5,00	P^2O^5	6000	9.46	0.84	52,85
Sodium	5,62	Na^2O	2177	3.42	2.59	164.70
Zinc	0,70	ZnO	1307	2.06	0,54	33.90
Carborundum	1.25	$SiO^2 + CO^2$	7000	11.08	0,175	11.27
Carbure de calcium produisant Acétylène	0,37	$2CO^2 + H^2O$	5000	7,88	0,075	4.76

On prend ici comme base la chaleur de combustion, c'est-à-dire la quantité de chaleur mise en liberté lors de la combustion de 1 kg de matière par l'oxygène.

Le tableau ne doit naturellement pas renfermer les métaux précieux dont la valeur est due à d'autres qualités.

Tous ces corps ne peuvent pas soutenir la comparaison avec le charbon. La puissance calorifique de ce dernier est de 7 000 calories. Le travail de combustion de 1 kg de charbon dépasserait un peu 11 chevaux-heure, ce qui à raison de 15 fr la tonne abaisserait le prix du cheval-heure à 0,135 fr.

Mais il faut employer des appareils bien volumineux pour transformer l'énergie du charbon et l'effet utile est bien petit. Rappelons au contraire les expériences de M. Goldschmidt [1]. Combien simple est ici la transformation de l'énergie de l'aluminium !

D'autre part le carbure de calcium CaC^2 est partout facilement transformable en gaz acétylène C^2H^2 et le rendement des moteurs à gaz atteint jusqu'à 30 p. 100. On ne doit donc pas rejeter l'idée de l'emploi futur du gaz acétylène, surtout dans la navigation.

Enfin rappelons que sur les voitures automobiles on cherche à remplacer le moteur à huile légère de pétrole par des accumulateurs électriques. En jetant un coup d'œil sur le dernier tableau on est frappé de ce que, même aux prix actuels, l'aluminium est supérieur au zinc au point de vue de son énergie électrochimique. Il est évident que l'on peut construire avec l'aluminium des éléments dont la force électromotrice et la capacité seront plus grandes que celles des piles au zinc. L'aluminium est un remarquable accumulateur d'énergie. Il faut d'ailleurs observer que pour les besoins dont il est ici question on pourra se contenter d'un métal moins pur. Au lieu d'alumine pure on pourra employer dans la fabrication du métal de la bauxite préalablement calcinée. Il en résulterait un abaissement considérable de prix que le

(1) *Écl. Élect.* t. XXI, p. 258 ; 1899.

développement des usines ne saurait que favoriser.

Mais au lieu de nous occuper de ces problèmes que l'avenir se chargera de résoudre, jetons maintenant un coup d'œil rapide sur les sources d'énergie auxquelles l'industrie électrochimique fait des emprunts.

On sait que les forces naturelles dont nous pouvons actuellement disposer ont presque toutes leur origine dans l'énergie rayonnée par le soleil. Ce n'est qu'en un petit nombre de localités qu'il est possible d'utiliser une infime partie de la provision de chaleur emmagasinée à l'intérieur de notre globe. L'énergie qui anime nos machines, nos mécanismes et les organismes vivants est empruntée directement au soleil. On distingue diverses sortes d'énergie qui se transforment plus ou moins facilement les unes dans les autres : l'énergie rayonnante, la chaleur, l'énergie mécanique, l'énergie électrique, l'énergie chimique.

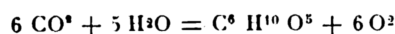
Sauf quelques formes de l'énergie mécanique on n'arrive guère à emmagasiner que l'énergie chimique ; à ce point de vue il n'y a pas lieu de tenir compte ici de la conservation de la chaleur et de l'énergie électrique.

L'énergie rayonnante est la moins saisissable de toutes les formes, voyons ce qu'elle devient en arrivant sur notre planète.

Une partie se convertit aussitôt en chaleur et sous cette forme pénètre à une faible profondeur à l'intérieur du sol en accomplissant des travaux d'ordre mécanique et chimique.

Parmi les travaux mécaniques il faut ranger principalement la vaporisation et l'élévation de l'eau. Prenons une hauteur moyenne de 1 m de pluie, les nuages étant supposés à une altitude moyenne de 3 000 m, la puissance mécanique moyenne qui en résulte est de 661 560 millions de chevaux. Nous n'utilisons qu'une fraction infime de cette puissance, mais actuellement on cherche à la capter partout où c'est possible.

Une partie notable de l'énergie solaire est transformée en énergie chimique. Sous l'action des rayons solaires il se produit dans les plantes des réactions qui sont résumées par la formule



$$6\,CO^2 + 5\,H^2O = C^6\,H^{10}\,O^5 + 6\,O^2$$

et qui donnent naissance au bois ou au ligneux en général, à l'amidon, etc. Tous ces corps constituent des provisions d'énergie.

Un mètre carré d'un terrain approprié est capable de produire en un an 1 kg de bois ; 1 km carré de forêt ou de surface arable nous fournit par conséquent 1 000 tonnes de ligneux dont le pouvoir calorifique est de 4 000 calories par kilogramme ; on en déduit une puissance continue de 700 chevaux environ. La superficie totale des continents étant de 136 038 872 km², on arrive ici encore à un résultat considérable, même en admettant qu'une faible partie seulement des terres soit couverte de végétation. La décomposition progressive des ligneux qui s'est faite pendant des milliers d'années a accumulé dans le sol de grandes provisions d'énergie sous la forme de tourbe, de lignite, de houille, etc.

Jusqu'à présent on a puisé sans trop d'économie dans ces magasins d'énergie, utilisant d'abord les meilleurs combustibles et négligeant presque complètement les tourbes et les charbons de qualité inférieure. Comme les frais de transport jouent un rôle important, les gros centres industriels s'établirent seulement dans les bassins houillers les plus riches.

L'industrie électrochimique qui prend un développement extraordinaire est en train de renoncer à ces errements : elle puise la plus grande partie de sa force aux chutes d'eau, ces accumulateurs naturels qui sont alimentés directement et d'une façon continue par le soleil.

Sur la puissance totale de 420 800 chevaux qui sont utilisés actuellement par l'industrie électrochimique ou qui sont sur le point de l'être, 378 000 proviennent des chutes d'eau, 40 350 seulement sont dûs à des chaudières à vapeur et 2 520 à des machines à gaz (dont 2 500 produits par des gaz naturels).

Cet état de choses — et l'auteur insiste beaucoup sur ce point — doit être pris en sérieuse considération si l'on veut juger de l'état économique actuel d'un pays. Presque toute la vieille industrie (et il ne s'agit pas ici de diminuer son importance) se nourrit de provisions qui sont nées pendant les anciennes périodes géologiques et qui ne se renouvellent pas notablement. L'industrie électrochimique, au contraire, vit en majeure partie (90 p. 100) d'une énergie qui se produit sous nos yeux, qui ne dure qu'un instant et dont nous pouvons profiter en combinant les procédés physiques et chimiques d'une technique spéciale. Cette énergie semblait, jusqu'à présent, n'avoir eu d'autre but

que de rétablir, d'une façon souvent destructive, l'équilibre hydraulique rompu par le soleil.

Les rendements étaient d'ailleurs jadis tellement faibles qu'ils déconcertaient les meilleures volontés et les esprits les plus déterminés. Ce n'est qu'en élevant le potentiel de l'énergie mécanique de l'eau qui coule qu'on peut songer à la transporter à distance. Le problème a tenté l'électrotechnique qui a cherché à conduire l'énergie des grandes chutes d'eau jusque dans les centres industriels, mais jusqu'ici on a été obligé de se cantonner dans des régions assez étroites. On dépend d'ailleurs toujours du câble de cuivre sans lequel toute transmission est impossible. Ainsi, même dans les cas les plus favorables, la liberté des mouvements est encore bien relative.

Cette infériorité n'atteint pas les productions de l'électrochimie. C'est l'industrie électrochimique qui est appelée plus que toute autre à convertir les formes passagères et peu transportables de l'énergie naturelle en des formes qui permettent l'expédition à de grandes distances et l'utilisation dans des contrées quelconques.

M. Kaufmann, d'Aix-la-Chapelle, fait quelques remarques un peu pessimistes sur l'avenir industriel de son pays ; il s'occupe principalement de deux industries qui ont acquis en Allemagne une importance de premier ordre, le raffinage du sucre et la fabrication des alcalis. Le procédé électrochimique Say pour le raffinage du sucre fonctionne à merveille. La seule raffinerie Wester à Amsterdam a acquis la licence du procédé pour un million de florins (environ deux millions de francs). L'orateur pense d'autre part que l'Allemagne aura peut-être plus tard de redoutables concurrents pour la fabrication des alcalis dans les usines du sud-est de la France où l'on trouve en abondance des chutes d'eau de 15 000 à 18 000 chevaux, dans des régions assez incultes où les frais d'achat des terres sont peu considérables. Le cheval-électrique y reviendrait à 50 fr par an.

Après une digression de M. Streeb, de Munich, sur les forces naturelles de l'Allemagne du sud, M. Goldschmidt, d'Essen, attire l'attention de l'assemblée sur la puissance considérable dont on pourra disposer une fois qu'on utilisera les gaz perdus des hauts fourneaux et des fours à coke, dans de grandes machines à gaz. Il estime que le cheval-électrique reviendrait à environ 125 fr l'an, c'est-à-dire plus du double du cheval-eau de la Savoie ; mais on aura l'avantage de se trouver au milieu des centres de production. L'orateur croit que l'Allemagne pourrait disposer de ce chef d'environ 500 000 chevaux.

M. Streeb, de Munich, ne partage pas cette opinion ; il pense que le cheval-an, abstraction faite du prix du combustible, revient à une somme de 125 à 150 fr (frais accessoires, de graissage, d'entretien, de réparations, d'amortissement, etc.). Les machines à gaz exigent d'ailleurs des quantités énormes d'huile de graissage. Un consortium bavarois est en train d'aménager les forces naturelles du Tyrol. Les installations coûtent 225 à 250 fr par cheval et le cheval-an revient en location à 35 florins (60 à 70 fr). Ces prix défient toute concurrence de la part de la vapeur et du gaz, même des gaz de hauts-fourneaux.

Suivant le professeur Ostwald, de Leipzig, il résulte de ces débats que d'autres pays sont mieux placés que l'Allemagne pour fabriquer à bon compte certains produits de la grosse industrie. Il conseille par suite à ses compatriotes de porter surtout leur activité vers la fabrication des corps qui possèdent une valeur de production, on pourrait dire une valeur intellectuelle. L'industrie des matières colorantes est un exemple à suivre ; il suffit de comparer le prix des couleurs avec celui des matières premières, benzine, naphtaline et anthracène pour se rendre compte de quelle façon la valeur marchande d'un produit peut-être plus de dix fois centuplée par addition d'intelligence. C'est par de semblables procédés qu'une industrie assure sa domination dans le monde.

P.-Th. Muller,

Professeur à l'Institut chimique
et à la Faculté des Sciences de Nancy.

Le Gérant : C. NAUD.

Tome XXIII. Samedi 28 Avril 1900. 7e Année. — N° 17

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

SUR LA CONSOMMATION DE CHARBON

DANS LES USINES CENTRALES A VAPEUR POUR LA TRACTION ÉLECTRIQUE

Dans le premier numéro de cette année du *Street Railway Journal*, M. A.-B. Herrick expose, dans un article illustré par un tableau en couleurs, la répartition de l'énergie contenue dans une *livre* de charbon de moyenne qualité, brûlée dans une usine électrique à vapeur desservant un réseau de tramways, selon les meilleurs résultats obtenus dans les essais de 16 usines de production de l'énergie électrique, et de 310 voitures équipées avec des moteurs électriques.

En particulier, cet auteur se refère au cas d'une station centrale comprenant : des chaudières tubulaires horizontales, avec des tubes de dimensions moyennes et d'une capacité de production d'environ 425 chevaux ; des machines à vapeur compound à condensation, fonctionnant à une pression de 10 atmosphères environ, et capables de développer, à 150 tours par minute, 600 chevaux effectifs ; des dynamos de 200 kilowatts utiles, couplées directement deux à deux aux machines à vapeur, et fonctionnant à 70 p. 100 de leur charge nominale.

L'auteur suppose en outre que le réseau ait son centre de gravité à environ 2,8 km de l'usine génératrice et qu'il soit parcouru par des voitures automotrices d'environ 11 tonnes, équipées avec deux moteurs et deux combinateurs (contrôleurs) Westinghouse, permettant l'accouplement en série et en dérivation des deux moteurs.

Sur ces bases l'auteur indique quelques résultats que nous croyons intéressants. Nous en rappellerons ici quelques-uns, mais en leur donnant une forme entièrement différente de celle employée par l'auteur américain, afin d'être plus facilement compris par qui n'a pas l'habitude des mesures anglaises. Cela servira d'introduction à quelques remarques que nous nous proposons de faire sur les usines centrales à vapeur.

**

1. Un kilogramme de charbon ayant un pouvoir calorifique de 6500 à 8750 grandes calories avec une moyenne de 7500 grandes calories, sa combustion équivaut à la production de 7 525 à 10 175 watts-heure, avec une moyenne de 8700 watts-heure.

Rapportons-nous donc à ce dernier chiffre et voyons combien de watts-heure se perdent dans chacune des opérations principales qui s'accomplissent, ou bien dans chacun des groupes d'appareils que l'on peut considérer séparément, dans une installation à vapeur alimentant un réseau de tramways électriques.

L'échauffement de l'air et de l'humidité aspirée, de l'eau contenue dans le charbon et produite par la combustion, la formation du coke et de la fumée, le charbon non brûlé qui reste dans les cendres, le rayonnement de la chaleur autour des chaudières, c'est-à-dire toutes les pertes inhérentes à la combustion, font perdre en moyenne 2375 de ces watts-heure, ou bien les 27,30 p. 100 du total. Le rendement du foyer et des parois des chaudières est donc d'environ 72,7 p. 100 en moyenne.

Le transport de l'humidité dans la vapeur d'eau, la condensation de celle-ci dans les tuyauteries, les frottements dans les tubes, dans les coudes et dans les soupapes en font perdre encore 350, ou bien les 4,01 p. 100 du total. Le rendement des chaudières et des tuyauteries est donc d'environ 94,4 p. 100.

Le fonctionnement des appareils de distribution, l'échauffement des cylindres au moyen de la chemise de vapeur, les condensations à l'introduction et à l'émission des cylindres, l'expansion incomplète de la vapeur, les frottements aux soupapes, au piston, à la tige, aux coulisses, à la manivelle, aux paliers, le fonctionnement du régulateur, du condenseur, etc., font perdre en moyenne 5 216 watts-heure, c'est-à-dire environ 60 p. 100 du total. Le rendement de la machine à vapeur n'est donc que d'environ 12,7 p. 100.

A ce point 7 741 watts-heure sont déjà dispersés, et on n'en a plus de disponibles sur les arbres des dynamos, que 759 environ, soit 1,03 cheval-heure effectif. Le rapport entre l'énergie disponible sur l'arbres des machines à vapeur, sous forme de travail mécanique, et l'énergie disponible dans le charbon, sous forme de chaleur de combustion, rapport que nous nommerons rendement de la transformation thermodynamique est donc d'environ 8,725 p. 100 en moyenne. C'est surtout sur ce coefficient que nous avons l'intention de revenir.

Les frottements dans les paliers, entre les balais et le collecteur, l'effet Joule dans l'armature, dans les bobines servant à l'excitation en dérivation et en série, dans le rhéostat de champ, les courants parasites, le phénomène d'hystérésis, font perdre encore 90 watts-heure, 1 p. 100 du total environ. Le rendement des dynamos serait donc des 88,2 p. 100 en moyenne.

Les connexions des dynamos entre elles, avec le tableau de distribution, l'alimentation des instruments, les différentes résistances de contact, absorbent encore 48 watts-heure, 0,55 p. 100 du total environ, en moyenne. Le rendement du tableau serait pour ainsi dire du 92,7 p. 100 à peu près.

8079 watts-heure seraient ainsi perdus, et il n'en resterait disponibles au tableau que 621. Pour avoir donc disponible au tableau un kilowatt-heure il faudrait partant consommer en moyenne 1,610 kg de charbon.

Le rendement de la transformation dynamo-électrique de l'énergie est d'environ 81,8 p. 100; mais celui de la transformation thermo-électrique résulte d'à peine 7,13 p. 100 en moyenne.

2. Après avoir donné les renseignements qui ont servi à extraire ces données, l'auteur

passe à l'indication des pertes que l'énergie subit en dehors de l'usine génératrice, dans différentes conditions de service de voitures et de fonctionnement des combinateurs et des moteurs.

Nous croyons plus intéressant de donner d'autres indications moyennes correspondant aux mêmes hypothèses sur lesquelles cet auteur s'est basé.

D'après celles-ci on perdrait encore :

Dans les alimentateurs ou feeders 70 watts-heure, soit 0,80 p. 100 du total ; le rendement moyen de cette partie du réseau serait donc de 88,6 p. 100.

Dans les distributeurs aux fils de trôlet 19 watts-heure soit 0,22 p. 100 du total ; le rendement moyen de ces conducteurs serait donc de 96,5 p. 100.

Dans les rails et feeders de retour 47 watts-heure, soit 0,55 p. 100 du total; le rendement moyen de cette partie du réseau serait donc de 81,6 p. 100.

Et le rendement global de la distribution serait en moyenne d'environ 78,1 p. 100.

On perdrait finalement encore 276 watts-heure soit 3,17 p. 100 du total, dans les frottements au trôlet et aux roues, dans les résistances et dans les contacts des combinateurs, des moteurs, accessoires, etc. Le rendement moyen de la voiture serait donc de 48,2 p. 100.

L'énergie vraiment utilisée pour la traction se réduirait ainsi à 209 watts-heure en moyenne sur les 8700 correspondant à un kilogramme de charbon, c'est-à-dire à 2,40 p. 100 à peine du total (soit encore à 33,6 p. 100 de l'énergie sortant de l'usine de production du courant électrique).

3. Examinons maintenant l'effet pratique de ce résultat moyen.

209 watts-heure correspondent à 180 grandes-calories, soit à 76 500 kgm environ.

En supposant que la vitesse maxima soit de 12 km par heure, que l'effort de traction soit de 10 kg par tonne (sur rails à gorge), que la voiture doive s'arrêter cinq fois par kilomètre, que cette voiture de 11 tonnes, absorbe un travail utile de $1{,}20 \frac{11000}{2g} \left(\frac{12000}{3600}\right)^2 = 7\,500$ kgm par démarrage [1], que les rampes et les pentes à franchir soient inférieures au coefficient de traction, que les courbes soient négligeables, une voiture-kilomètre absorberait $10 \times 11 \times 1000 + 5 \times 7\,500 = 147\,500$ kgm. Une voiture-kilomètre entraînerait donc une consommation de 1,930 kg de charbon, soit une dépense d'environ 4,35 centimes, en supposant que le charbon coûte 22,5 fr. la tonne.

On s'aperçoit ainsi que le résultat moyen déduit des indications de l'auteur américain ne serait pas trop favorable à la démonstration de l'économie de la traction électrique [2].

4. Toutefois on peut vraiment réaliser, en pratique, des conditions bien plus avantageuses que celles déduites ci-dessus et obtenir des résultats plus satisfaisants.

Si le rendement thermo-dynamique était porté à 10 p. 100 ; le rendement dynamo-électrique à 85 p. 100 ; celui de la distribution du courant à 80 p. 100 ; celui des voitures à 70 p. 100, l'énergie utilisée pour la traction atteindrait les 4,75 p. 100 de l'énergie calorifique du charbon consommé.

Dans ces conditions un kilogramme de charbon pourrait fournir, à la jante des roues motrices, un travail supérieur à 150 tonnes-mètres, et la dépense en charbon, par les mêmes

(1) Le coefficient 1,20 est appliqué pour tenir compte de la force vive des masses tournantes.

(2) Dans les tramways à vapeur de banlieue, la consommation de charbon est de 3 à 4 kg par kilomètre et par train, ce train pouvant être composé de 3 à 6 voitures avec la locomotive. Mais dans ce cas, si la vitesse est plus forte, le nombre des arrêts est beaucoup plus petit, et la voie, à rails du type Vignole, exige un effort de traction moindre que les voies urbaines à rails du type Phœnix.

hypothèses que ci-dessus, se réduirait à 2,2 centimes par voiture-kilomètre, soit à 2 millimes par tonne-kilomètre [1].

4. Nous ne voulons pas nous occuper ici des précautions qui améliorent le rendement dynamo-électrique, celui de la distribution, ni celui des voitures ; nous désirons dire quelques mots sur la variabilité du rendement thermo-dynamique tel que nous l'avons défini plus haut.

Si l'on remarque que 7500 grammes calories valent autant que 3 190 000 kgm ou que 11,8 chevaux-heures, on voit qu'un cheval-heure correspond à 84,7 grammes de combustible ordinaire par machine ; la consommation horaire de charbon par cheval effectif s'obtiendra donc en divisant ce dernier poids par le rendement thermo-dynamique.

On sait bien qu'un facteur très important de l'économie d'exploitation d'une installation à vapeur — soit avec, soit sans accumulateurs — est toujours le choix des unités.

Quand on ne veut pas recourir à l'emploi d'accumulateurs pour régulariser la charge, il faut aussi tenir compte des variations de cette charge, tant au point de vue de leur amplitude, que de leur durée.

Dans un service de traction, il n'est pas rare que la demande de puissance instantanée maximum du réseau à l'usine soit le triple de la demande moyenne. Il convient donc d'installer des dynamos, des moteurs et des chaudières qui garantissent simultanément une haute limite supérieure de puissance et un fonctionnement économique pour une production bien plus limitée.

5. Les machines électriques de construction consciencieuse, peuvent supporter pendant quelques instants des surcharges très sensibles sans aucun danger. Quelques usines parmi celles qui ont la pratique la plus ancienne et la plus étendue des installations de traction (de tramways et de chemins de fer) supportent aisément une surcharge de 25 à 30 p. 100 pendant une heure, sans que la température des enroulements atteigne une limite dangereuse ; une surcharge de 35 à 40 p. 100 pendant quelques minutes, sans que les étincelles au collecteur produisent de sensibles dégâts ; une surcharge de 45 à 50 p. 100 et même quelquefois plus élevée encore sans que l'on ait à craindre pour les isolants qui enveloppent les conducteurs. — Avec de telles machines on peut en toute confiance installer à peine les trois-quarts de la puissance maximum qui peut être nécessaire par instants. Dans cette condition la charge moyenne n'est jamais une fraction trop petite de la puissance installée, et le rendement commercial du générateur électrique se maintient constamment dans des limites fort acceptables. En effet, de telles machines, pourvu qu'elles ne soient pas construites pour des vitesses supérieures à 200 révolutions par minute, partent d'un rendement de 94 p. 100 à pleine charge et conservent encore un rendement de 89 p. 100 à un quart de charge, pour autant que leur puissance nominale ne soit pas trop inférieure à 250 kilowatts [2].

---

[1] En supposant que la vitesse maximum soit de 20 km par heure, que l'effort de traction soit de 7 kg par tonne (sur rails à champignon), que le train de 2 voitures ne doive s'arrêter qu'une fois tous les deux kilomètres, que ces deux voitures de 21 tonnes absorbent $1.15 \frac{21000}{2g} \left(\frac{20000}{3600}\right)^2 = 38\,000$ kgm par démarrage, que les rampes et les pentes soient toutes inférieures au coefficient de traction que l'on vient d'indiquer, que les courbes soient négligeables, un train-kilomètre absorberait $7 \times 21 \times 1000 + \frac{1}{2}\,38000 = 166$ kgm. Un train-kilomètre porterait alors à une consommation de 1,110 kg de charbon environ et à une dépense de 2 1/2 centimes. La tonne-kilomètre coûterait alors moins que 1 1/4 millime.

[2] Partant la disposition considérée par M. Herrick, qui consiste dans l'accouplement de deux dynamos de 200 kilowatts au moteur de 600 chevaux, au lieu d'une seule dynamo de 400 kilowatts, nous paraît désavantageuse.

Des générateurs semblables d'une puissance normale supérieure à 500 kilowatts peuvent atteindre des rendements même un peu plus élevés, mais généralement pas au delà de 1 p. 100.

Il ne peut pas être question de voir si les générateurs électriques, spécialement à excitation compound, peuvent suivre facilement toutes les variations de la charge en produisant continuellement l'énergie dans la mesure demandée : leur régulation, purement électromagnétique, ne subit aucun retard de la part d'inerties ou de frottements.

6. Mais pour les machines à vapeur les choses sont différentes ; les trois caractères : *élasticité* c'est-à-dire faculté de supporter de fortes surcharges, *économie* c'est-à-dire conservation d'un rendement suffisant à des charges très différentes, et *promptitude* c'est-a-dire faculté de suivre rapidement les demandes d'énergie, ont des exigences bien distinctes qu'il est difficile de concilier entre elles [1].

Il est évident, en effet, que tandis que l'économie porterait à donner la préférence aux machines à expansion multiple, la promptitude porterait à préférer les machines monocylindriques.

Parfois les choses se compliquent par d'autres exigences comme l'insuffisance de l'espace ou de l'eau ; mais nous n'avons pas l'intention de nous arrêter à ces détails.

Malgré toutes ces difficultés le problème est parfois assez bien résolu en adoptant des machines à deux cylindres (type Woolf ou bien compound, et dans ce cas préférablement en tandem), horizontales, à condensation, à non grande vitesse, de construction simple et robuste, avec des systèmes de distribution qui permettent de varier le degré d'admission de la vapeur entre des limites assez écartées, sous la direction de régulateurs sensibles.

Nous croyons même qu'il conviendrait à plusieurs constructeurs de machines à vapeur d'étudier séparément des autres les moteurs à offrir pour les installations de traction. Il y en a bien quelques-uns qui ont porté leur attention sur la nécessité de donner à ces machines un bon rendement à une charge réduite et une limite supérieure de puissance assez éloignée de la puissance normale, mais il n'y a pas peu à faire encore dans cette direction [2].

Evidemment ce problème est d'autant plus ardu que l'on considère une machine plus petite dans l'échelle des puissances.

7. Quant aux chaudières, pour s'adapter à un travail très variable, elles devraient contenir une abondante réserve de vapeur sèche à débiter en masse au moment voulu, et prêter à une vaporisation très rapide de l'eau pour remplacer les pertes sans qu'il se produise un abaissement excessif de la pression. Il ne convient point de subvenir directement avec la vaporisation de la masse liquide aux grandes demandes instantanées car dans ce cas là vapeur entraîne avec elle une forte quantité d'humidité. Une augmentation instantanée du débit qui fait baisser considérablement la pression occasionne la formation de la vapeur dans toute la masse liquide et produit à la surface une tumescence qui croît avec la dépression. Cette formation de vapeur diffère de la vaporisation ordinaire, qui doit se produire seulement au contact des surfaces de chauffe les plus efficaces.

---

(1) C'est précisément à cause de ces incompatibilités que l'on est astreint parfois à recourir à l'emploi de batteries d'accumulateurs dans les centrales à vapeur : la puissance à fournir alors par les moteurs subit des variations moins importantes et moins brusques.

(2) Qui, si elle est convenablement suivie, portera aux constructeurs de machines à vapeur une partie du travail qui va maintenant aux constructeurs d'accumulateurs. Il conviendrait peut-être de revenir sur l'étude du réglage de l'admission dans les cylindres suivant le premier.

La vapeur se dégageant de toute la masse par ces dépressions exagérées a un titre très bas. Pour diminuer l'entraînement de l'humidité il faut donc que le volume du réservoir de la vapeur, que le volume de la masse liquide et que la surface libre de l'eau soient aussi grands que possible. Dans ces conditions et avec des dispositions appropriées dans le collecteur de la vapeur on peut obtenir un fonctionnement satisfaisant, presque un régime stable. Les proportions entre les trois éléments que nous venons d'indiquer peuvent être très variées ; un grand volume de vapeur peut compenser quelque exiguïté du volume d'eau ; ainsi conviendra-t-il d'ajouter des accumulateurs de vapeur aux générateurs trop exclusivement tubulaires.

Il n'est point nécessaire de recommander en outre l'emploi des économiseurs et des surchauffeurs, qui est déjà en train de se généraliser grâce à l'évidence de leurs effets bienfaisants.

8. Quant à la pression à adopter, elle est dictée par les conditions d'élasticité et d'économie que l'on demande aux machines à vapeur. Etant donné le type de la machine et de son mécanisme de distribution, la machine sera d'autant plus élastique qu'elle pourra développer sa puissance normale avec un plus petit degré d'admission ; partant et pour qu'elle ne soit pas trop encombrante et lourde par rapport à cette puissance normale, il faut que la pression à l'admission soit élevée. Ceci n'est pas contraire aux exigences de l'économie, car pour un même degré d'admission le rendement croît précisément, quoique jusqu'à une certaine limite, avec la pression. A l'égard de la pression, élasticité et économie vont bien d'accord, car en outre : le degré d'admission qui donne le meilleur rendement diminue quand la pression initiale augmente et le meilleur rendement, au degré d'admission le plus convenable, augmente quand la pression initiale augmente [1].

Ainsi donc une machine compound développant sa puissance normale à un degré d'admission moindre que celui d'une autre machine également compound, sous une pression plus élevée, sera bien plus élastique et plus économique.

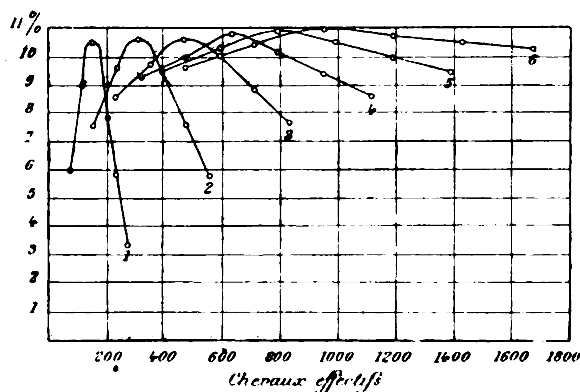


Fig. 1. — Diagramme de rendement thermodynamique de six groupes (chaudières et moteurs) de puissances différentes sous diverses charges.

L'empoi de la condensation diminue la pression limite, tout en augmentant le rendement limite ; il est donc doublement appréciable.

9. Voyons maintenant quels éléments peuvent guider dans la détermination du nombre et de la puissance des unités à installer dans une usine qui doive produire une somme de travail mécanique avec la plus grande économie.

Nous supposerons, pour simplifier, que ces unités comprennent, avec le moteur compound, un générateur approprié de vapeur.

Nous avons représenté dans le dessin ci-dessus, les diagrammes du rendement thermodynamique d'unités composées de chaudières et de machines de six capacités différentes en progression arithmétique comme les numéros 1, 2, 3, 4, 5 et 6.

[1] C'est ainsi qu'en suivant l'ordre : machines monocylindriques, machines Compound, machines à triple expansion, selon lequel le degré d'admission correspondant à la puissance normale décroît, on voit le meilleur rendement augmenter et la pression la plus économique augmenter aussi.

Sans indiquer aucune puissance nominale, nous appellerons unité de première grandeur la plus petite et unité de sixième grandeur la plus grande de ces unités.

Nous avons marqué sur chacun de ces diagrammes six points correspondant au fonctionnement à six charges différentes, aussi en progression arithmétique comme les numéros 2, 3, 4, 5, 6 et 7.

Sans nous rapporter à aucune charge normale, nous nommerons première charge la plus petite et sixième charge la plus grande de ces charges.

Les abscisses donnent le nombre des chevaux effectifs produits; les ordonnés le pourcent qui mesure le rendement thermo-dynamique.

Le meilleur rendement correspond uniformément à la troisième charge; la quatrième charge a une valeur telle qu'elle peut être supportée par les machines pendant vingt-quatre heures sans que l'échauffement produise aucun dommage; la sixième charge peut être atteinte exceptionnellement sans aucun danger, mais elle ne peut pas être longtemps soutenue soit à cause de l'échauffement qui deviendrait promptement excessif, soit à cause de la consommation de vapeur qui ferait baisser trop rapidement la pression dans les chaudières.

Cette sixième charge doit être considérée comme une limite supérieure, qu'un service de traction seulement peut exiger et que peu de constructeurs atteignent dans leurs machines ordinaires.

De l'inspection de ces diagrammes il résulte que :

a) En progressant de la première unité (correspondant à environ 200 chevaux effectifs) à la sixième unité (correspondant à environ 1 200 chevaux effectifs) le rendement le plus favorable croît assez lentement avec la puissance.

(Il faut avertir au contraire, qu'en descendant au-dessous de la première puissance, le rendement diminue assez rapidement avec la puissance. En d'autres termes la courbe enveloppe de tous les diagrammes analogues aux six diagrammes que l'on a dessinés, est, théoriquement, une courbe qui part de l'origine des axes, s'élève d'abord très rapidement, et fléchit ensuite brusquement pour acquérir une inclinaison assez petite. C'est uniquement sur cette dernière partie que s'appuient les six diagrammes que nous avons pris en considération.)

b) Dans le même intervalle, les variations du rendement correspondant à une même variation de la charge, diminuent très sensiblement pendant que la puissance des unités augmente.

(On remarquera que les rendements à une même charge quelconque — comme ceux de la troisième charge qui se trouvent sur la courbe enveloppe indiquée ci-dessus — sont placés sur autant de lignes ayant une allure analogue à celle de cette courbe; mais ces lignes présentent un coude toujours moins marqué au fur et à mesure qu'elles se rapportent à des charges toujours plus éloignées de la troisième).

Si l'on admet une certaine réduction du rendement — soit en valeur absolue, soit par rapport au rendement maximum — on a disponible une variation plus large de la charge au fur et à mesure que la puissance des unités augmente.

Le rendement moyen croît donc plus vite que le rendement maximum quand la puissance des unités augmente.

C'est donc la considération du rendement moyen plutôt que celle du rendement maximum qui porte à composer une usine centrale avec un petit nombre d'unités de grande puissance, ce qui fait réaliser aussi une économie dans les frais d'installation.

c) L'écart entre le meilleur rendement et celui qui se rapporte à une charge plus élevée

(la quatrième ou la cinquième), diminue plus rapidement que l'écart entre ce même rendement maximum et celui qui se rapporte à une charge plus faible (la deuxième ou la première).

Tandis qu'avec des unités de la première à la quatrième puissance le rendement est plus élevé à la première qu'à la sixième charge, avec des unités de la cinquième puissance les deux rendements sont sensiblement égaux, et avec des unités de la sixième puissance, le rendement est plus élevé à la sixième charge qu'à la première.

C'est donc surtout pour le fonctionnement à des charges considérablement plus fortes que la charge normale, que les machines de grande puissance sont plus avantageuses.

En d'autres termes, pour un type de machines et de chaudières donné, élasticité et économie vont d'autant mieux d'accord que la puissance des unités est plus grande.

10. Si l'on représente par η le rendement à la charge C dont la durée est t, le rendement moyen après un temps T est exprimé par :

$$\eta_m = \frac{\int_0^T C\,dt}{\int_0^T \frac{C}{\eta}\,dt}\,.$$

tandis que la charge moyenne est donnée par :

$$C_m = \frac{1}{T}\int_0^T C\,dt\,.$$

Par approximation, on peut remplacer les intégrales par des sommes et écrire :

$$\eta_m = \frac{\Sigma C_s t_s}{\Sigma \frac{C_s t_s}{\eta_s}} \qquad \text{et} \qquad C_m = \frac{\Sigma C_s t_s}{\Sigma t_s} \qquad (s = 1, 2 \ldots .)$$

Si l'on considère par exemple seulement six charges distinctes, proportionnelles aux nombres 2, 3, 4, 5, 6 et 7, dont les durées soient proportionnelles aux nombres 20, 10, 4, 3, 2 et 1, on trouve que la charge moyenne coïncide avec la deuxième et que le rendement moyen est fourni par l'expression :

$$\eta_m = \frac{120}{\frac{40}{\eta_1} + \frac{10}{\eta_2} + \frac{4}{\eta_3} + \frac{3}{\eta_4} + \frac{2}{\eta_5} \frac{1}{\eta_6}}\,.$$

Si l'on y réfléchit on peut se convaincre que ces conditions de variabilité de la charge (où la demande maximum d'énergie atteint les 7/3 de la demande moyenne pendant 1/40 de la durée du travail, et où la demande minimum descend aux 2/3 de la même demande moyenne pendant la moitié de la même durée) représentent assez bien ce qui peut arriver sur un réseau de tramways dans une ville de moyenne importance et tel à justifier l'installation d'unités des six grandeurs que nous avons considérées plus haut.

Or, si l'on fait correspondre ces six charges distinctes avec celles envisagées dans les diagrammes, et si l'on adopte les rendements indiqués par ces diagrammes, en faisant les calculs pour les six différentes unités on trouve :

Pour la 1re unité	Charge moyenne 120 ch_{eff}	Rendement moyen 6,83 p. 100
» 2e »	» 240 »	» 8,36 »
» 3e »	» 360 »	» 9,17 »
» 4e »	» 480 »	» 9,66 »
» 5e »	» 600 »	» 10,01 »
» 6e »	» 720 »	» 10,23 »

Il résulte clairement de ces calculs que le rendement moyen de ces unités, dans les conditions de variabilité de la charge que nous avons supposées, augmente avec la puissance de ces unités, bien plus rapidement que leur rendement maximum ; et précisément tandis que le meilleur rendement s'élève de 10,50 à 11,00 p. 100, le rendement moyen s'élève de 6,83 à 10,23 p. 100 environ.

Il faut remarquer que le travail produit en excès par ces unités pendant qu'elles fonctionnent au-dessus de la charge moyenne, et qui est égal, naturellement, au travail produit en moins pendant qu'elles fonctionnent au-dessous de la charge moyenne est 1/6 du travail total.

Dans une installation avec une batterie d'accumulateurs, telle serait donc la moindre fraction du travail total qui serait d'abord emmagasinée et restituée ensuite moyennant une certaine perte.

11. Puisque l'occasion se présente, qu'on nous permette de faire à la hâte une comparaison.

En supposant que l'on perde dans la batterie et dans les différents appareils qui servent au contrôle et au réglage de son fonctionnement les 40 p. 100 environ de l'énergie qu'ils mettent en action, il serait nécessaire de produire, avec les unités à vapeur, dans le premier cas envisagé plus haut 130 chevaux effectifs au lieu de 120, et dans le sixième cas 780 chevaux effectifs au lieu de 720, pour subvenir à cette perte.

On pourrait alors adopter des unités plus petites et telles à fonctionner avec le meilleur rendement en correspondance d'une production de 130, 260, 390, 520, 650, 780 chevaux-effectifs.

Si l'on était obligé d'adopter des unités du même type, les diagrammes nous montrent que ce meilleur rendement pourrait être, respectivement de 10,48 — 10,56 — 10,64 — 10,72 — 10,81 — 10,89 p. 100.

Sans emploi d'accumulateurs la consommation de charbon par heure serait donc, dans les six cas, de 149 — 246 — 333 — 420 — 507 — 594 kg tandis qu'en égalisant la charge avec les accumulateurs, elle résulterait de 105 — 209 — 310 — 410 — 509 — 607 kilos. Ce qui démontre que, même sous le seul point de vue de la consommation de charbon, si l'on considère des réseaux de tramways de puissance différente, mais sur lesquels la variation de la charge soit semblable (même durée globale relative des différentes charges qui se correspondent) l'avantage présenté par l'emploi des accumulateurs diminue au fur et à mesure que la dite puissance augmente, jusqu'au point de disparaître tout à fait.

Mais au delà d'une certaine puissance on peut recourir à l'emploi de machines d'un type différent et plus économique. En effet, la charge étant régularisée et énormément moins variable sinon constante, on peut se servir de machines à triple et même à quadruple expansion. Ces machines offrent une économie de 18 à 30 p. 100 dans la consommation de charbon par rapport aux machines compound de même puissance [1].

12. Nous n'avons pas l'intention de traiter ici complètement le problème du plus grand avantage, ce qui nécessiterait la considération des autres frais d'exploitation ainsi que des frais d'installation. Nous nous bornerons donc à dire encore quelques mots concernant uniquement la consommation de charbon.

Puisque celle-ci dépend essentiellement du rapport entre la charge moyenne des

[1] Le défaut d'eau acceptable pour l'alimentation des chaudières oblige à recourir à la circulation ; dans ce cas le rendement thermodynamique diminue de 4 à 6 p. 100 de sa valeur maximum.

machines et leur charge normale, et augmente quand ce rapport diminue, en projetant une installation il faudra disposer les choses de telle sorte que ce rapport soit aussi élevé que possible, tout en tenant compte des charges instantanées qui pourront se présenter et que les machines devront pouvoir supporter. Le constructeur des machines, de son côté, devra adopter toutes les dispositions qui peuvent servir à leur donner une grande élasticité[1].

Quand le service journalier peut être divisé en plusieurs périodes, pendant lesquelles les demandes moyennes et maximum d'énergie sont bien distinctes, on pourra faire varier le nombre des unités en action en passant d'une période à l'autre. Une disposition avantageuse, dans une usine de moyenne importance, est la suivante : ajouter à deux unités puissantes et capables de suffire, à elles seules, à l'alimentation du réseau pendant la période journalière la plus chargée, une troisième unité plus petite, d'une puissance égale au 2/3 ou 3/4 de celle de deux autres ; installer en outre une troisième unité égale à celles-là comme réserve. L'unité plus petite permet de faire un grand nombre de combinaisons de puissances différentes, et de suivre ainsi de plus près les variations de la demande d'énergie. Elle peut servir encore, ainsi que la grande unité de réserve, pendant les jours de trafic exceptionnel.

L'addition de l'unité plus petite, au moyen de laquelle on évite, au moins dans certaines périodes de la journée, le fonctionnement des grandes machines à une charge trop réduite, donne vraiment, en pratique, de bons résultats dans certaines installations urbaines de moyenne puissance ; mais elle perd de son importance si l'on considère des installations bien plus grandes, où il devient indispensable d'adopter un plus grand nombre d'unités continuellement en action.

A. Della Riccia.

APPAREILS DE MESURES

Les bobines E du galvanomètre de J.-W. Flower et Th.-Ed. Gambrell[2] sont enroulées sous formes de disques très minces et portées à l'extrémité d'un bras perpendiculaire à l'axe de rotation $G G_1$ (fig. 1, 2 et 3) ; ces bobines tournent dans l'entrefer ménagé entre des aimants en fer à cheval C et une pièce polaire massive, en fer doux, D ; les bobines tournent ainsi dans leur plan. Au repos les bobines, maintenues par la rigidité des rubans de bronze phosphoreux S qui amènent le courant, sont placées symétriquement par rapport aux pôles des aimants C ; dès que le courant passe elles sont attirées par l'un des pôles et repoussées par l'autre jusqu'à ce que l'élasticité des rubans de suspension fasse équilibre au couple électromagnétique.

La sensibilité de l'appareil peut être réglée en faisant varier la distance de la pièce polaire D aux aimants. On peut n'employer qu'une seule bobine en l'équilibrant au moyen d'un contrepoids C, figures 4 et 5.

---

(1) Les machines installées par la Metropolitan Traction Company, de New-York, ont une puissance normale de 4000 chevaux et maximum de 6600 chevaux (65 p. 100 de surcharge). Cette seconde charge peut être supportée très longtemps, mais avec un rendement moindre que la première.

Les machines commandées par la compagnie du Manhattan, aussi à New-York, pour l'Elevated, auront une puissance normale de 6600 chevaux, et maximum de 10000 chevaux (52 p. 100 de surcharge).

(2) Brevet anglais n° 2726, déposé le 7 février 1899, accepté le 20 mai 1899. 5 figures.

L'électromètre de G. Léonard ADDENBROKE (1) est un appareil à quadrants qui, dans l'esprit de l'inventeur, présente un certain nombre d'avantages sur les appareils existants ; bon isolement sans avoir recours à l'acide pour dessécher l'intérieur de la cage, facilité de réglage, sensibilité variable à volonté et transport facile. Comme ces avantages reposent sur la combinaison d'une quantité de dispositions fréquemment employées, il n'y a pas lieu de les décrire en détail ainsi que dans le brevet, l'examen des figures 6 à 9 fera très suffisamment comprendre la construction de cet instrument.

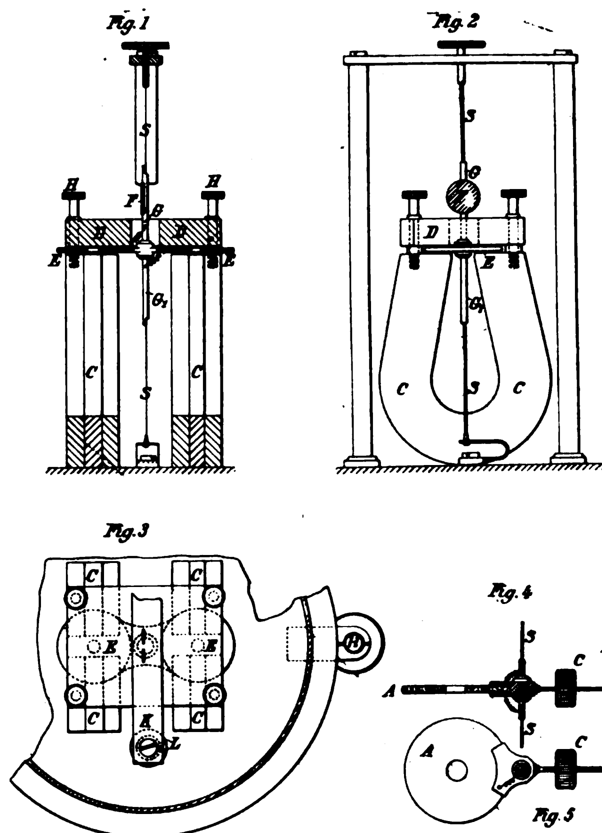


Fig. 1, 2, 3, 4, 5. — Coupe verticale, élévation, plan et détails du galvanomètre Flower et Gambrell.

Les quadrants d_1 sont portés par des tiges métalliques c enveloppées dans des tubes isolants en ébonite, avec lesquels elles ne sont en contact qu'au centre. Les tubes d'ébonite ont leur surface extérieure striée pour augmenter la longueur de la surface, selon le procédé fréquemment usité en Angleterre. Les quatre faces inférieures des quadrants sont fixes, les faces supérieures, portées par des équerres c_2, sont susceptibles d'être élevées et abaissées de façon à faire varier la sensibilité de l'électromètre. L'aiguille, qui peut être de la forme en 8 habituelle, est suspendue par un fil métallique à la tige h ; celle-ci est isolée comme les colonnes des quadrants et elle est munie d'une série de réglages : crémaillère avec bouton de commande h_2, pour régler la hauteur de l'aiguille, vis tangente h_4, pour la faire tourner, enfin, plateau mobile f_2 tenu par trois vis f_3, permettant le centrage de la suspension.

Pour faciliter le déplacement de l'aiguille sans enlever les quadrants, un bouton extérieur d_2 commande, par le moyen d'une tige isolée, le mouvement d'un des secteurs d_1, de sorte que celui-ci peut tourner et laisser l'aiguille libre de sortir de la boîte formée par les quadrants.

Comme sensibilité l'inventeur indique, avec une suspension en bronze phosphoreux de 0,0375 mm de diamètre et 175 mm de longueur, un écartement de 5 mm entre les faces intérieures des quadrants et une échelle placée à 2 m de distance, une déviation de 3 à 5 mm pour 1 volt, par la méthode idiostatique.

La clef d'inversion, figures 10 et 11, est destinée à servir avec le même électromètre, elle est disposée de la même manière, au point de vue de l'isolement. En abaissant l'une ou l'autre des touches k_2, on fait communiquer la borne correspondante K_1 avec la borne K, au

(1) Brevet anglais n° 25 752, déposé le 6 décembre 1898, accepté le 4 novembre 1899. 8 figures.

moyen des lames *m* et *n*, tandis que l'autre borne K_2 reste en contact avec la borne supérieure K, par la borne bifurquée K_1.

Le long brevet pris par le même sous le n° 20 862 (1), est presque un traité d'électrométrie ; il repose sur les combinaisons de trois électromètres, du type décrit ci-dessus, avec piles, commutateurs, résistances et potentiomètres, disposés de façon à faire simultanément

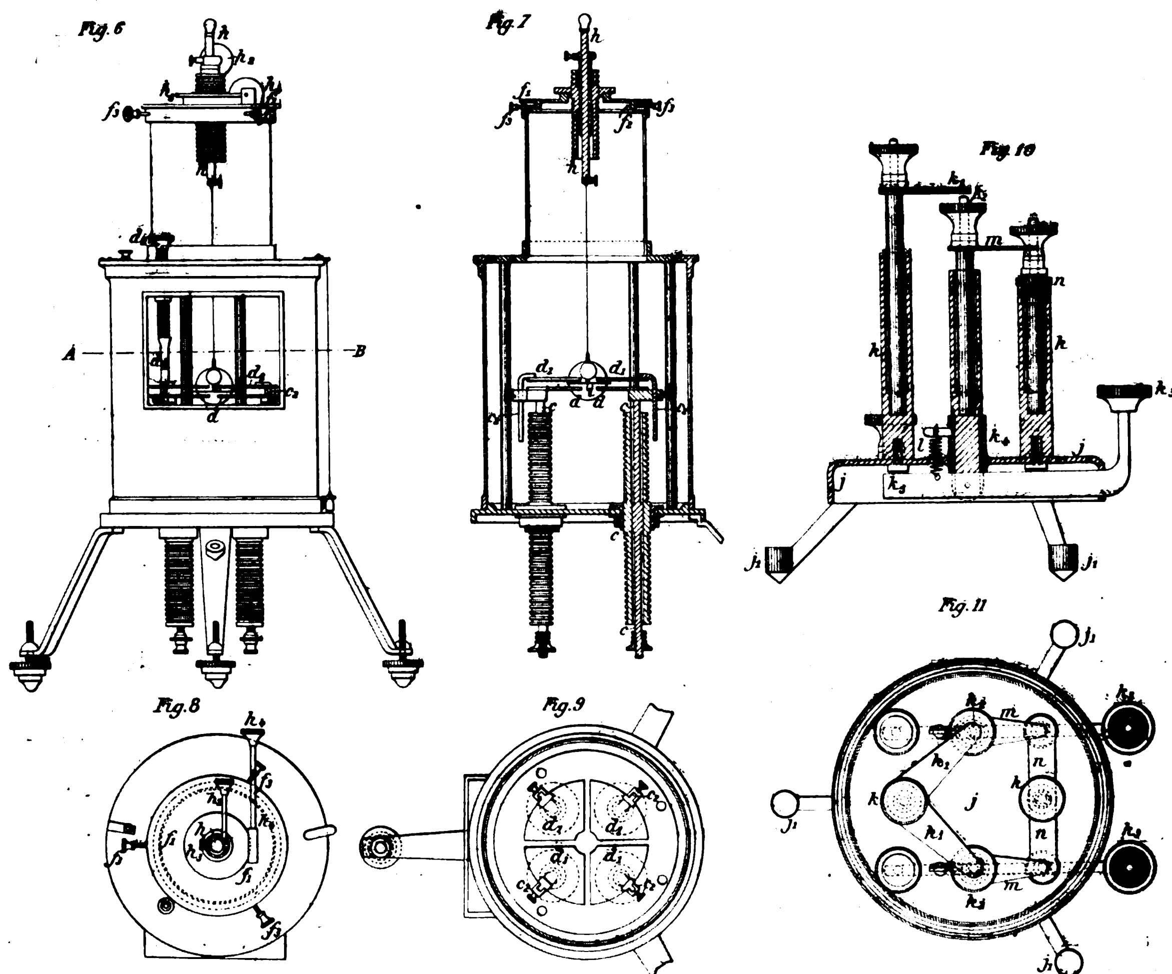


Fig. 6 à 11. — Fig. 6, 7, 8, 9, élévation, coupe verticale, plan et coupe horizontale de l'électromètre G.-L. Addenbroke. — Fig. 10 et 11, clef pour l'électromètre Addenbroke.

les mesures de force électromotrice, intensité et puissance, en courant continu ou alternatif et à étalonner les appareils avant et après la mesure.

Les trois électromètres GHI, figures 15 et 16, sont réunis dans le fond d'une boîte appropriée ; une lanterne L projette sur le miroir de chacun d'eux un rayon lumineux qui, après réflexion, vient tomber sur l'une des échelles $G_1H_1I_1$; ces échelles sont réglables en hauteur et à distance. Une boîte N renferme les commutateurs $SS_1S_2S_3$, le potentiomètre R, la pile-étalon C et une batterie D, d'un voltage approprié aux mesures à faire.

(1) Brevet anglais n° 20 862, déposé le 18 octobre 1899, accepté le 23 décembre 1899. 5 figures.

La figure 12 donne le schéma des connexions à établir : les trois appareils sont reliés, d'une part, à une barre commune B et, d'autre part, aux commutateurs $SS_1S_2S_3$ qui permettent de faire les liaisons convenables. Le premier électromètre G sert comme voltmètre, le second H comme ampèremètre et le troisième I comme wattmètre. L'alternateur A est relié au circuit A_1 dans lequel est intercalée une résistance sans self, *ab*, calculée de telle sorte qu'elle absorbe, sans échauffement gênant, environ 1 volt à pleine charge. L'étalon Clark C, la batterie D et le potentiel E, destinés à prendre des fractions connues de D, soit reliés à la barre commune et à certains plots des commutateurs. Enfin des résistances h_3 et i_3 permet-

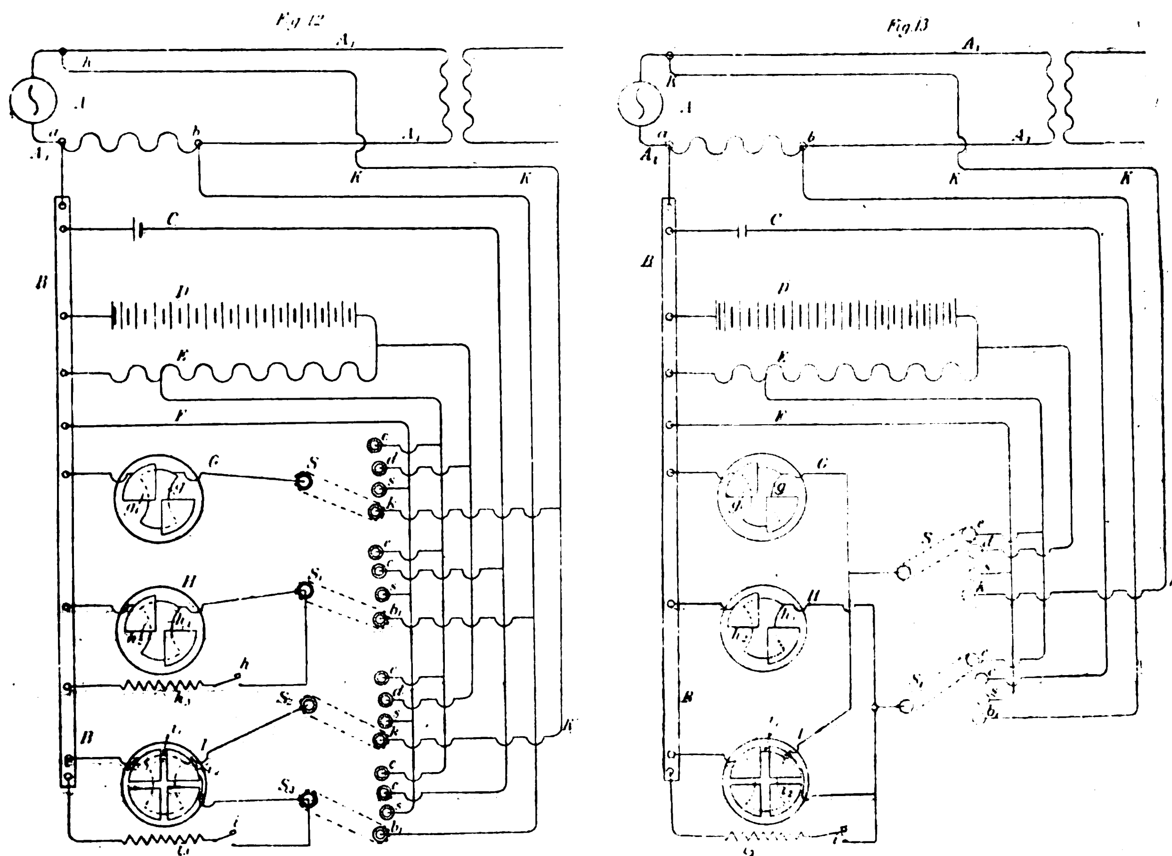


Fig. 12, 13. — Schémas des connexions pour la méthode de Addenbroke.

tent, au moyen des clefs *h* et *i*, de fermer l'ampèremètre et le wattmètre en court-circuit sur 20 000 ohms environ, pour éviter que ces instruments prennent des charges électrostatiques trop grandes pendant le déplacement des commutateurs.

L'étalonnage des instruments se fait en commençant par le wattmètre. Le commutateur S_2 est placé sur le plot *c*, de sorte qu'il existe entre les quadrants une force électromotrice égale à celle de l'étalon C, le commutateur S_3 étant au même moment sur le plot *d*, l'électromètre I dévie. Poussant ensuite S_3 sur *e*, on règle le rapport du potentiomètre jusqu'à obtenir la même déviation, la différence de potentiel prise sur E est donc égale à la force électromotrice de C, ce qui permet de connaître la force électromotrice de la batterie D; l'appareil est aussi étalonné, puisque dans la mesure les quadrants de I seront aux bornes de la résistance *ab*, il suffira de diviser l'indication de l'électromètre par la résistance *ab* pour connaître la puissance mesurée. En pratique on

règle la sensibilité de façon à ce que la lecture multipliée par un coefficient simple donne le produit des différences de potentiel ; par exemple si l'étalonnage a été fait avec un Clark ayant 1,44 volt et une batterie D ayant 100 volts, on s'arrangera pour que la déviation soit égale à 144 divisions. On sait que le couple directeur électrique peut troubler notablement les mesures, la disposition employée ici permet d'éliminer cette erreur puisque, la mesure une fois faite, E et I notés, on peut refaire l'étalonnage du wattmètre en partant du même voltage E et en faisant varier le potentiomètre jusqu'à obtenir la même déviation : il est évi-

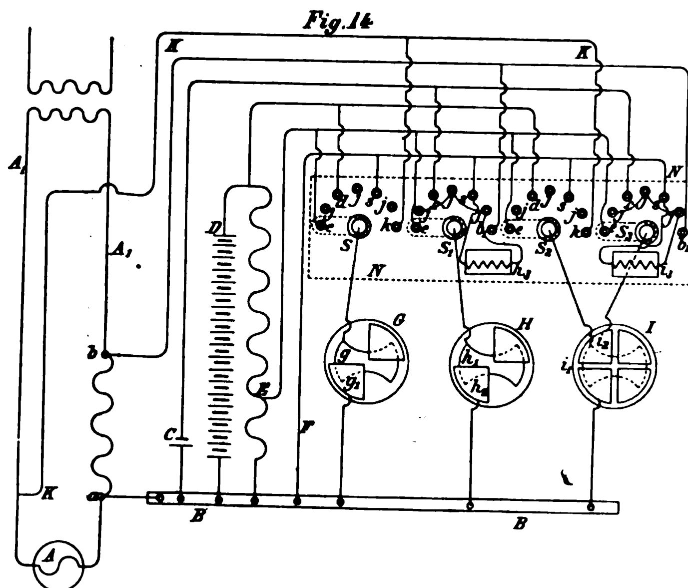
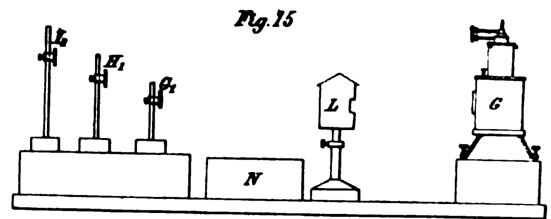


Fig. 14. — Schéma des connexions pour la méthode de Addenbroke.



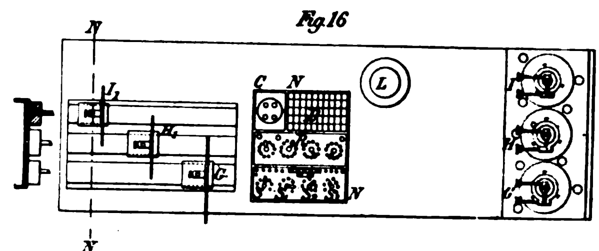


Fig. 15 et 16. — Groupement des appareils pour la méthode de Addenbroke.

dent que, dans ces conditions, le couple directeur électrique a la même influence dans la mesure et dans l'étalonnage, ce qui élimine son action. Il est permis d'ajouter, au point de vue des mesures, que la méthode indiquée ici est celle de M. Potier, mal simplifiée, car le schéma n'indique pas la possibilité de faire la seconde mesure dans laquelle l'aiguille i_2 du wattmètre doit être reliée à b.

L'étalonnage de l'ampèremètre et du voltmètre se font par le même principe à l'aide du potentiomètre et, là aussi, il est possible, après la mesure, de faire l'étalonnage pour la déviation observée.

La figure 13 représente le même schéma simplifié par la suppression de deux commutateurs. Dans la figure 14 on retrouve les quatre commutateurs, mais munis de plots supplémentaires j_1 reliés aux résistances h_2 et i_2, de sorte que la mise en court-circuit des instruments est obtenue automatiquement à chaque passage d'un plot à l'autre.

MM. A. Bewicke Blackburn et W.-L. Spence [1] font breveter un galvanomètre à cadre mobile dont les détails sont déjà connus et employés depuis longtemps. Le champ magnétique est produit soit par un électro-aimant, soit par un aimant permanent A, figures 17, 18 et 19, sur lequel sont fixées les pièces polaires N et S, en fer doux. Le circuit magnétique

[1] Brevet anglais n° 14 399, déposé le 29 juin 1898, accepté le 18 mars 1899. 4 figures.

se ferme par les deux espaces étroits qui existent entre les faces en regard des pièces N et S; comme cet entrefer a une réluctance très faible, le circuit est bien fermé et l'aimant conserve bien son aimantation. De plus, dans cet entrefer, le champ est pratiquement uniforme, de sorte que la bobine C, qui embrasse la pièce polaire centrale S, dévie, proportionnellement au courant qui la traverse, jusqu'à 90° environ. Pour augmenter l'espace où la graduation est proportionnelle, on a intérêt à faire le champ uniforme dans la plus grande étendue possible, en augmentant l'angle couvert par les pièces polaires; mais si ces dernières s'approchent trop du pôle de l'aimant opposé à celui auquel elles sont fixées, il y a à craindre des dérivations magnétiques. On évite ces dérivations en laissant un certain

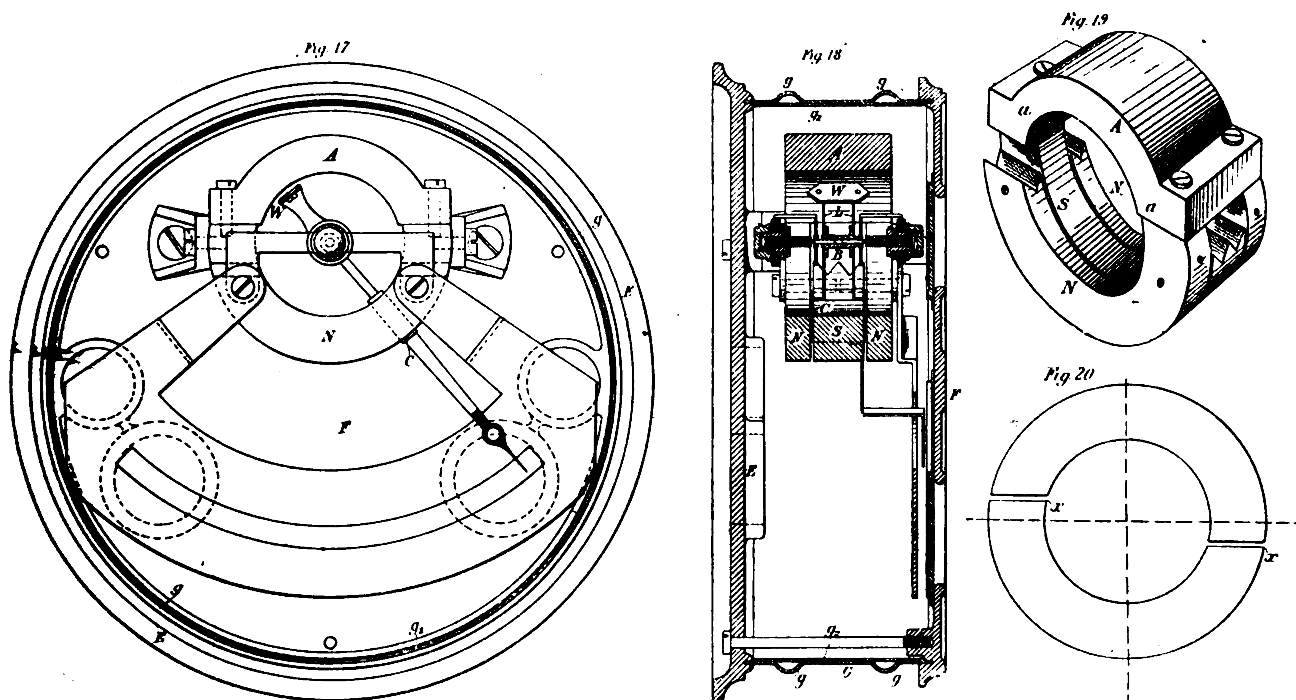


Fig. 17, 18, 19, 20. — Vue de face, coupe verticale et détails du galvanomètre Blackburn et Spence.

espace libre et, en outre, les inventeurs font dans les bouts libres des pièces polaires des encoches en V!! Pour réaliser les pièces polaires extérieures N, on prend un anneau de fer tourné, figure 20, que l'on coupe au moyen de deux traits de scie x.

La bobine mobile C est rectangulaire, figures 17 et 18, elle est enroulée sur une armature en cuivre qui sert à l'amortissement.

Cette bobine est portée par deux bras, L, fixés sur les joues d'une bobine en ivoire, B, laquelle est portée par un axe en acier qui pivote dans des agates. Un contrepoids W, des ressorts spiraux S_1 et un index, complètent la partie mobile. Les ressorts servent à amener le courant et aussi à diriger la bobine mobile; on peut corriger en partie les effets de la variation de température en faisant ces deux ressorts inégaux, agissant en sens contraire et avec des métaux ayant des coefficients de variation différents, ou en prenant deux ressorts égaux agissant dans le même sens!!!

L'appareil est complètement enfermé dans une boîte dont les fonds E et F sont en fonte de fer, le corps étant constitué par une double enveloppe, en fer, g_1, et en laiton g.

Quand, dans un réseau électrique, les conducteurs reliant l'usine aux points d'utilisation ont une certaine résistance, la différence de potentiel, à ces points, est plus faible qu'à l'usine et cela d'autant plus que l'intensité est plus élevée; comme c'est aux points d'utilisation qu'il faut maintenir une différence de potentiel constante, il est nécessaire d'augmenter le voltage à l'usine au fur et à mesure que le courant augmente.

Diverses solutions sont employées pour faire ce réglage, soit que l'on tienne compte de l'intensité, soit que l'on fasse usage de fils spéciaux reliant le voltmètre placé à l'usine à un point convenablement choisi du réseau, soit enfin que l'on emploie des appareils spéciaux à double enroulement, tenant compte, à la fois, du voltage à l'usine et de la perte en ligne; cette dernière solution avait déjà été proposée en 1882 par J. Hopkinson.

Le moyen proposé par R.-E. Bell Crompton et S.-W. Ashley [1] est analogue à celui d'Hopkinson, sauf qu'il comporte seulement l'emploi d'un appareil à faible résistance muni de shunts et d'un commutateur qui permet de mesurer successivement le voltage aux bornes ou en un point quelconque du réseau.

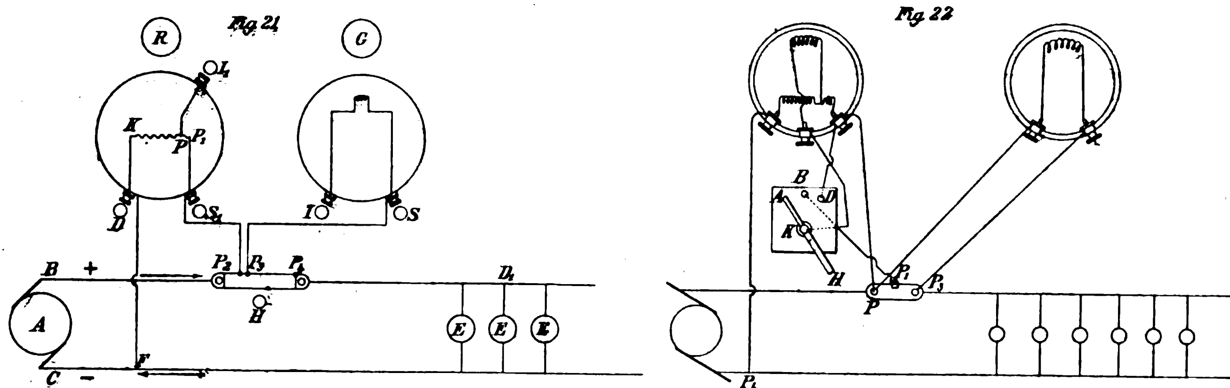


Fig. 21, 22. — Schémas du voltmètre Crompton.

La figure 21 donne le schéma du système : la machine génératrice A envoie le courant, par les conducteurs B et C, dans le circuit où sont placés les appareils E. Il faut pouvoir mesurer avec le même galvanomètre G, de préférence un appareil à cadre mobile, la différence de potentiel au point F, ou au point D_1, et l'intensité. Une boîte R renferme une grande résistance K munie de trois bornes : deux aux extrémités, D et S_1, une, I, en un point choisi, P_1. Une faible résistance H, intercalée dans le circuit principal, sert de shunt au galvanomètre; elle est munie de trois prises de potentiel $P_2 P_3 P_4$.

Pour mesurer l'intensité totale la borne I du galvanomètre est reliée à P_2 et la borne S à P_4. Pour mesurer le voltage en F, les bornes S et S_1 sont reliées ensemble à P_2, tandis que I et I_1 sont aussi réunies; le galvanomètre reçoit ainsi une fraction du courant dérivé qui passe dans la résistance K. Enfin, pour mesurer la différence de potentiel en D_1, les connexions du schéma sont réalisées et I est reliée à I_1; dans ces conditions le galvanomètre G reçoit encore un courant proportionnel au voltage en F, mais diminué d'une quantité rI, qui dépend de l'intensité du courant; il est facile de comprendre que l'on peut, par un réglage convenable de la résistance r, faire que les lectures sur G soient proportionnelles au voltage en D_1. La figure 22 représente le même schéma réalisé avec deux appareils, l'un servant à indiquer constamment l'intensité.

[1] Brevet anglais n° 6 695, déposé le 19 mars 1898, accepté le 18 mars 1899. 2 figures.

Le système breveté par A.-C. Heap [1] est absolument identique au précédent, il est inutile de répéter à ce sujet ce que nous venons de dire, la figure 23 indique suffisamment la disposition préconisée. Le brevet renferme de plus le schéma et l'installation des appareils sur un réseau à trois fils, figures 24 et 25.

Les shunts ont, avec les courants continus, l'avantage de permettre facilement la variation de la sensibilité d'un galvanomètre et rendent en même temps celui-ci plus indépendant du circuit où circule le courant à mesurer; ces avantages sont à peu près obtenus, pour les courants alternatifs, par l'emploi de transformateurs dans lesquels le circuit magnétique renferme un entrefer suffisamment résistant. Bien que ces tranfsormateurs

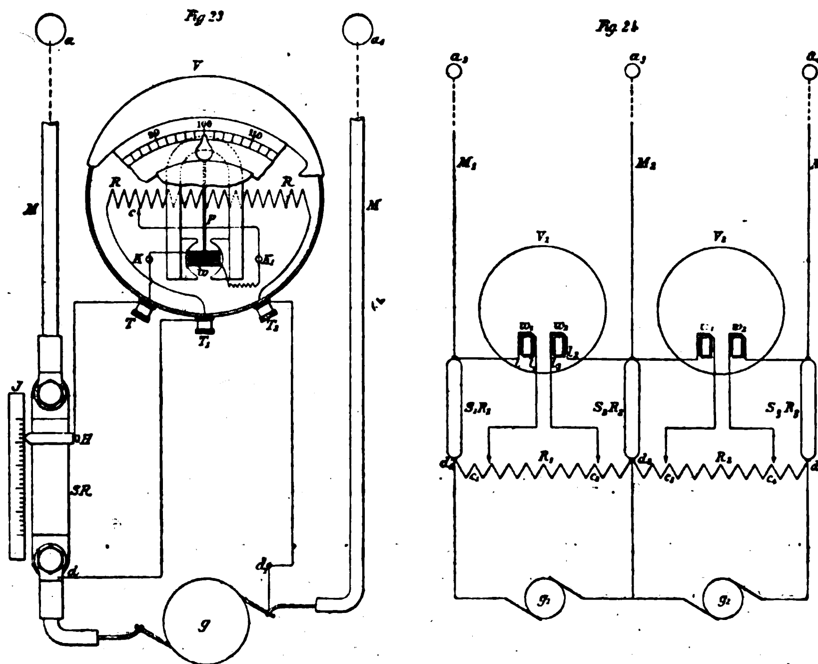


Fig. 23, 24. — Schémas et dispositions du voltmètre Heap.

n'aient pas un coefficient de transformation rigoureusement constant, ils sont d'un emploi assez commode pour justifier leur usage.

Jusqu'ici cette disposition n'avait pas été appliquée au wattmètre parce que les courants ainsi transformés présentent, avec le courant qui les a engendrés, une différence de phase variable. C'est pour éviter cet inconvénient que Siemens et Halske [2] proposent une solution générale consistant à ramener constamment la différence de phase à 180°, de sorte que, pour les wattmètres, les indications conservent la valeur qu'elles auraient sans transformateur.

Les dispositions revendiquées sont les suivantes : emploi d'une résistance r, figure 26, en dérivation sur le secondaire, de sorte que le courant J_A qui traverse le wattmètre A soit bien retardé de 180° sur J_1; en effet le courant J_r étant en avance sur J_A, il faut que ce dernier retarde sur le courant secondaire total fourni par le transformateur T. La résistance en

(1) Brevet anglais n° 8 348, déposé le 7 avril 1898, accepté le 18 février 1899. 6 figures.

(2) Brevet anglais n° 17 263, déposé par Siemens Brothers et Cie le 25 août 1899, accepté le 28 octobre 1899. 14 figures.

dérivation peut être remplacée par quelques spires isolées, enroulées à côté du secondaire du transformateur et fermées directement sur une résistance sans self r, figure 27.

Le transformateur peut aussi être employé à la réduction du potentiel, ce qui a l'avan-

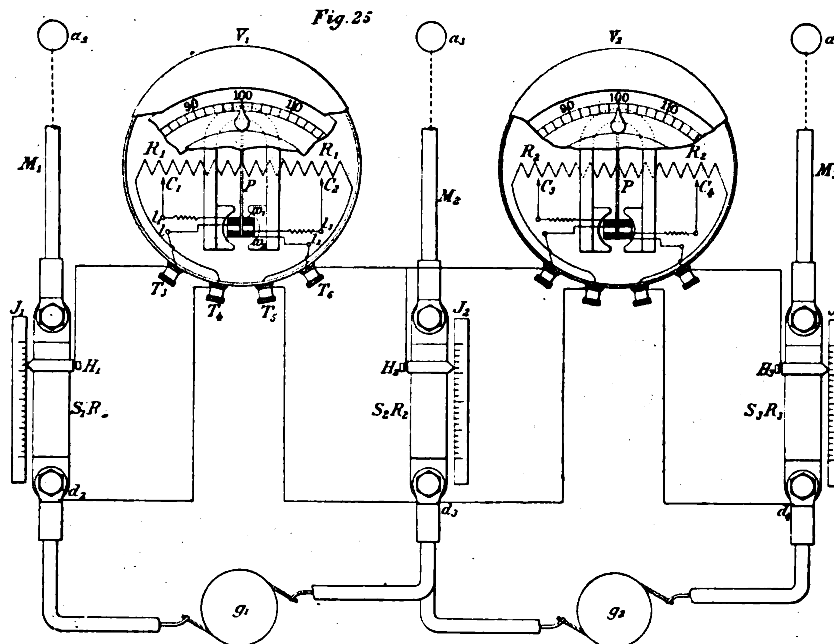


Fig. 25. — Schéma et disposition du voltmètre Heap.

tage d'isoler entièrement l'appareil de mesure du circuit à haute tension et augmente ainsi la sécurité du personnel. Pour obtenir que les courants aient encore dans le wattmètre les mêmes différences de phase, à 180° près, on peut shunter le circuit des ampères par une bobine de self S, ce qui a pour effet d'*avancer* le courant principal dans A, figure 28.

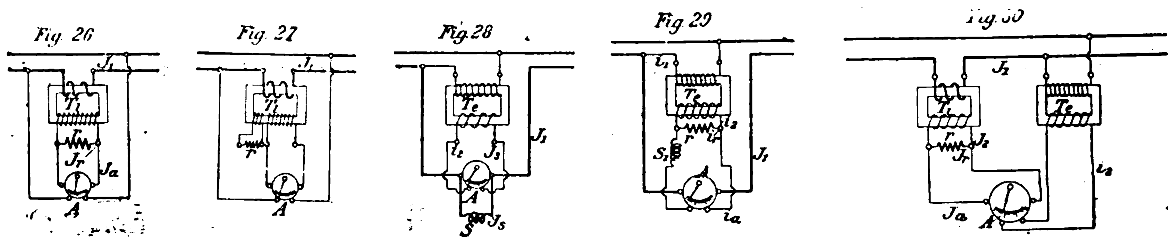


Fig. 26, 27, 28, 29, 30. — Dispositif Siemens et Halske pour l'emploi des transformateurs avec les wattmètres.

On peut aussi, comme précédemment, *retarder* le courant dérivé i_A au moyen d'une dérivation r, mais en ayant soin d'ajouter une bobine de self S_1 dans le circuit *volts*, figure 29.

Enfin on peut employer à la fois deux transformateurs, l'un pour réduire le voltage, l'autre pour réduire l'intensité ; il suffit alors de faire le réglage sur un seul des transformateurs, celui des ampères par exemple, figure 30.

Tous ces réglages se font simplement en plaçant les wattmètres sur des circuits sans induction, ils doivent donner exactement le produit EI.

Le galvanomètre de H.-Ph. Davis et Franck Conrad [1] est un appareil à champ tournant qui peut servir comme ampèremètre ou comme voltmètre. Le courant à mesurer passe dans la bobine 8, enroulée sur une branche d'un noyau en fer laminé 6 coupé par un entrefer 7, figures 31 à 36.

Sur les deux extrémités en regard du noyau sont enroulées, en circuit fermé, deux

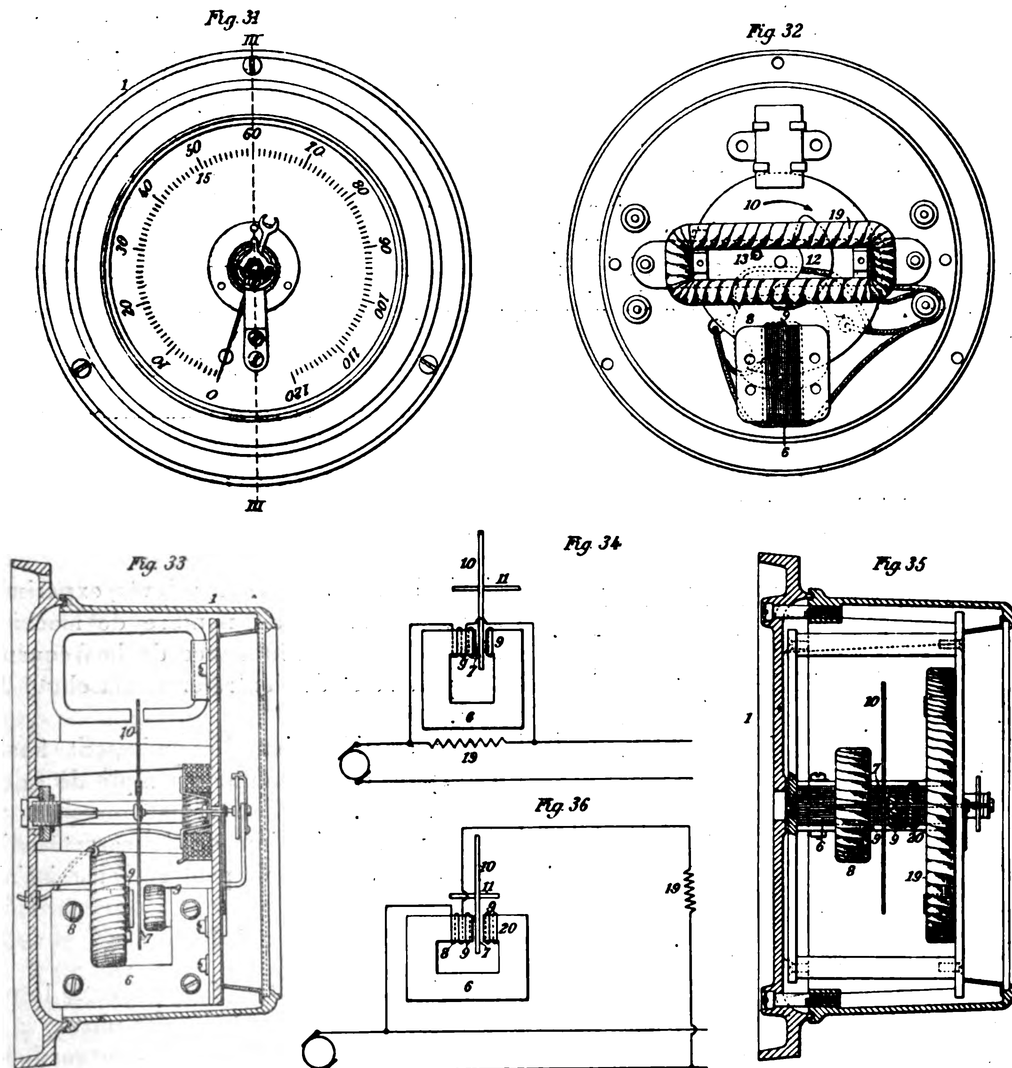


Fig. 31 à 36. — Fig. 31, 32, 33,35, vue de face, vue intérieure, coupe verticale et coupe horizontale du galvanomètre Davis et Conrad. — Fig. 34 et 36, schémas du galvanomètre Davis et Conrad.

bobines 9 dont un des côtés est placé dans une rainure du noyau, de sorte que ces bobines ne couvrent pas la surface entière de l'entrefer. Sous l'action du courant alternatif qui parcourt la bobine 8, des courants induits prennent naissance dans les bobines 9, et comme celles-ci ne sont pas symétriques par rapport à 8, un champ tournant prend naissance dans l'entrefer. Un disque de cuivre 10, monté sur un axe horizontal, passe dans l'entrefer où il

[1] Brevet anglais n° 20 440, déposé le 27 septembre 1898, accepté le 29 juillet 1899. 6 figures.

est soumis à un couple proportionnel au carré de l'intensité du courant à mesurer; un ressort spiral combat l'action de ce couple et, par suite, s'oppose à la rotation continue du disque. Pour que les déviations soient proportionnelles aux intensités, au lieu de l'être au carré, le disque est découpé en spirale, comme on le voit sur la figure 32; il en résulte qu'il pénètre d'autant moins dans le champ que celui-ci est plus intense, ce qui réduit le couple exercé et le ramène à la proportionnalité.

Quand l'appareil est employé comme ampèremètre, il est muni d'un shunt 19, figure 34, formé de fil de cuivre enroulé sans self, dans le but, d'une part, d'éviter les effets de la variation de température sur la conductibilité du disque et, d'autre part, pour rendre les indications indépendantes de la fréquence.

Quand l'instrument sert de voltmètre, la résistance 19, figure 36, est placée en série, elle est toujours enroulée sans self, mais elle est en fil à coefficient de température aussi faible que possible ; pour corriger les variations de résistance du disque, on enroule, sur le noyau de fer 6, une bobine auxiliaire 20, en fil de cuivre, disposée symétriquement à la bobine 8, et qui agit de façon à désaimanter le noyau, plus ou moins selon la température.

H. ARMAGNAT.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

GÉNÉRATION ET TRANSFORMATION

Sur le calcul des alternateurs, par **B.-A. Behrend**. *Electrical World*, t. XXV, p. 90, 125 et 126 des 20 et 27 janvier et du 3 février 1900.

L'auteur se propose dans cette étude de montrer quels sont les facteurs qui interviennent dans l'établissement d'un type d'alternateurs, en se basant sur des résultats expérimentaux obtenus sur différents types d'alternateurs construits par les ateliers d'Œrlikon.

« Tandis qu'en Amérique, dit-il, on contrebalance l'effet néfaste de la production des courants dewattés par le compoundage des alternateurs, en Suisse et en Allemagne, qui sont les seuls pays (?) qui prennent part au développement des courants polyphasés, on emploie une voie différente. » Cette voie consiste, comme on le sait, à diminuer la chute des tensions des alternateurs par une diminution des effets de la réaction d'induit.

M. Behrend s'occupe d'abord des facteurs qui sont nécessaires pour la prédétermination de la caractéristique à vide d'un alternateur; puis il entreprend la vérification de la méthode Behn-Eschenburg pour la détermination de la caractéristique en charge, et compare les résultats ainsi obtenus avec ceux relevés expérimentalement sur un certain nombre de machines. Il montre ensuite l'influence de la fréquence, du pas polaire et de l'entrefer sur la chute de tension.

Ces considérations le conduisent finalement à l'exposé d'une méthode simple de calcul des alternateurs.

La prédermination de la caractéristique à vide d'un alternateur peut se faire à l'aide de la formule

$$e = kn\Phi N \, 10^{-8}$$

dans laquelle n est la fréquence, N le nombre total de conducteurs actifs par phase, φ le flux émanant d'un pôle et enfin k le coefficient de Kapp dépendant uniquement du rapport de la largeur réelle d'une bobine à la distance des axes de deux bobines voisines et du rapport de la largeur d'un pôle à la distance des axes de deux pôles voisins, c'est-à-dire au pas polaire [1].

[1] On trouvera les valeurs du coefficient k, puis les largeurs de bobines et de pôles les plus courantes dans l'intéressant ouvrage de M. Kapp « constructions électro-mécaniques », traduction française de MM. Dubsky et Girault. Baudry, éditeur, Paris.

Une connaissance aussi exacte que possible des fuites de l'inducteur est nécessaire pour le calcul de la caractéristique à vide, autant dans le cas des machines à pôles alternés avec une bobine par pôle que dans le cas des alternateurs à bobine centrale à variation de flux.

En ce qui concerne les machines à pôles alternés avec une bobine par pôle, les fuites sont analogues, sinon identiques, à celles des machines à courant continu, et les chiffres abondent.

Le type d'alternateur à pôles alternés et à bobine inductrice unique a pratiquement disparu maintenant, à cause des fuites immenses qu'il présente, ainsi que des inconvénients de l'emploi d'une bobine mobile, aussi M. Behrend trouve qu'il n'est pas nécessaire d'insister sur les cruels déboires qu'a donnés ce genre d'alternateurs.

Les alternateurs inducteurs ou à flux variable qui, dit l'auteur, jouissent d'une meilleure réputation qu'ils ne le méritent en réalité, sont en somme inférieurs aux alternateurs à flux renversé, tant au point de vue électrique, à cause des fuites entre les saillies polaires adjacentes, qu'au point de vue mécanique, par suite de l'emploi de grandes inductions dans l'entrefer qui conduisent pour éviter les effets d'un faible excentrage à donner aux arbres des dimensions plus grandes qu'avec les dynamos à pôles alternés. Des difficultés avec les paliers, si ceux-ci ne sont pas amplement proportionnés, sont également à craindre.

Pour étudier les fuites dans les inducteurs des génératrices à flux variable, M. Behrend préconise le procédé employé par M. Kapp, basé du reste sur le même principe que l'appareil d'Hopkinson pour l'étude des propriétés magnétiques du fer et consistant à disposer une petite bobine d'épreuve en place d'une bobine de l'induit et à la retirer ensuite brusquement en mesurant la variation de flux produite, à l'aide d'un galvanomètre balistique.

En opérant ainsi sur un alternateur de 800 kilovolts-ampères construit par les ateliers d'Œrlikon et pour lequel l'entrefer était de 5 mm et la largeur de la saillie polaire égale au pas polaire de 23,5 cm, l'auteur a obtenu les résultats consignés sur la figure 1, en portant en ordonnées les déviations du galvanomètre et en abscisses les intensités du courant d'excitation.

La courbe I se rapporte aux déviations lorsque la bobine d'épreuve est juste sous la saillie polaire (avec intensité croissante et décroissante du courant d'excitation) et la courbe II aux déviations lorsque la bobine est entre deux saillies polaires voisines. En retranchant de la courbe moyenne des courbes I la courbe II, on

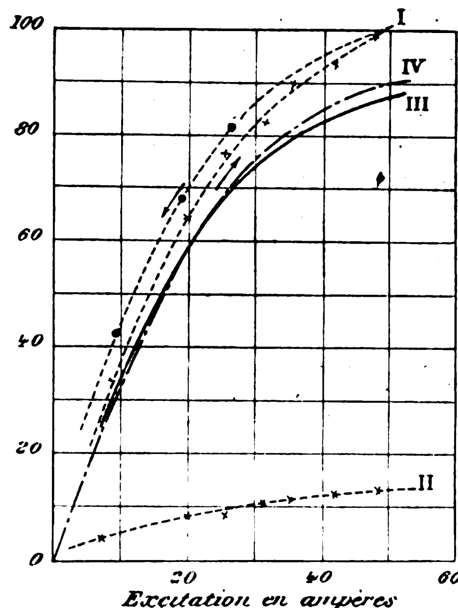


Fig. 1.

obtient la courbe en trait plein III, qui représente le flux résultant, le flux de fuite agissant, pour la production de la tension, en sens contraire du premier. La courbe IV est la caractéristique de l'alternateur, obtenue expérimentalement et ramenée à la même échelle.

Le rapport du flux de fuite II au flux résultant III est d'environ 0,15, le flux de fuite induit donc dans l'induit une force électromotrice égale à 15 p. 100 de celle que produit le flux résultant ; mais comme cette force électromotrice est en sens contraire de celle produite par le flux résultant dans les bobines sous les saillies polaires, un flux de fuite de 15 p. 100 produit ici le même effet qu'un flux de fuite de 30 p. 100 dans un alternateur à pôles alternés.

Les fuites passant d'un côté à l'autre de l'inducteur sans traverser l'induit ne sont pas évaluées dans ce qui précède, mais il est bon de dire qu'elles sont très faibles et peuvent être généralement négligées.

Le coefficient de fuite varie avec le rapport de

l'entrefer à la largeur de la saillie polaire et avec la valeur absolue du pas polaire. Le chiffre le plus faible que l'auteur ait trouvé est de 20 p. 100 avec un entrefer de 1,6 mm et un pas polaire de 23 cm; avec un entrefer de 3,2 mm et un pas polaire de 12,7 cm, le facteur de fuite atteint la valeur de 45 p. 100.

L'influence du pas polaire est, du reste, évidente si l'on veut bien se rappeler combien la résistance magnétique de l'entrefer d'une dynamo à courant continu à induit à trous augmente lorsque l'on ouvre les trous.

L'emploi d'un petit pas polaire a été la cause véritable des déboires obtenus avec les machines du type inducteur construites pour une fréquence assez élevée, déboires que l'on a presque toujours attribués à l'emploi d'une fréquence relativement élevée.

Pour montrer l'influence du rapport de la largeur du pas à l'entrefer, l'auteur reproduit sur la figure 2 les caractéristiques à vide de deux

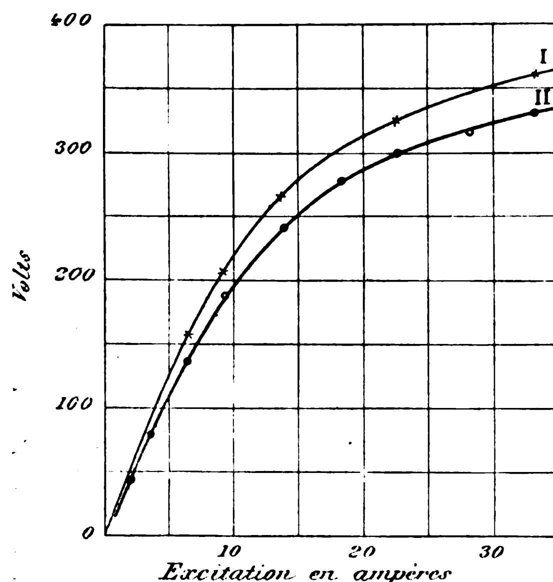


Fig. 2.

alternateurs à fer tournant; le premier (courbe I) à une vitesse de 500 tours par minute et le second (courbe II) à une vitesse de 250 tours; le premier ayant deux fois moins de saillies polaires que le second.

Les inducteurs avaient même diamètre : le premier avec 6 saillies de chaque côté et un pas polaire de 27,6 cm égal à la largeur du pôle, et le second 12 saillies et par suite un pas d'une largeur de pôle de 13,8 cm. La section des pôles et le nombre de spires de la bobine inductrice étaient les mêmes; les entrefers étaient de 3 mm.

Ce qui a été dit de l'influence du pas sur les fuites des alternateurs inducteurs est vrai aussi pour les alternateurs à pôles alternés, quoique l'accroissement des fuites ait moins d'influence, parce qu'elles ne donnent pas lieu à une force contre-électromotrice. Tandis que le facteur de fuite dans le générateur, dont la caractéristique à vide est représentée sur la courbe II de la figure 2, est d'environ 45 p. 100, les fuites, pour un alternateur à pôles alternés et d'un pas polaire de 14,1 sont de 30 p. 100 avec le même nombre d'ampère-tours dans le champ; l'entrefer de ce dernier alternateur était de 3 mm.

M. Behrend a comparé les résultats expérimentaux obtenus par lui, en faisant travailler plusieurs alternateurs sur des circuits à facteur de puissance très faible, aux chiffres que donne l'application de la méthode, bien connue [1], de M. Behn-Eschenburg, laquelle consiste, comme on le sait, à traiter un alternateur par la même méthode que celle appliquée par M. Kapp aux transformateurs [2].

L'expérience permet de constater que dès que le facteur de puissance descend au-dessous de 0,6, la chute de tension est pratiquement égale à celle causée par des courants déwattés.

La vérification de la méthode de Behn-Eschenburg est plus favorable avec une large chute de tension, « car, dit M. Behrend, une petite chute comme celle déterminée par des courants en coïncidence de phase, avec la tension aux bornes, ou peu décalés, ne permet pas d'affirmer si la méthode est exacte ou non [3]. »

---

[1] Voir Behn-Eschenburg, *Écl. Élect.*, t. IV, p. 511.

[2] Voir Kapp, *Écl. Élect.*, t. III, p. 421.

[3] Nous concédons à M. Behrend que dans les machines à très faible chute de tension la difficulté est en effet assez grande, mais il n'en est pas moins vrai que si l'on applique la méthode de M. Behn-Eschenburg à des machines ayant une chute de tension appréciable même pour des courants en coïncidence de phase avec la tension aux bornes, on s'aperçoit facilement qu'elle donne des chiffres trop forts de 20 p. 100 environ pour cette raison bien connue que la résistance apparente d'un alternateur pour des courants wattés est en général plus petite que pour des courants déwattés. La méthode de M. Behn-Eschenburg n'est en somme qu'un procédé simple et d'approximation par excès avec une erreur d'autant plus grande que la chute de tension est elle-même plus grande. C. F. G.

Pour déterminer la caractéristique pour un débit donné en ampères, connaissant les caractéristiques à vide et en court-circuit, on suppose que la réaction d'induit et les fuites de l'induit ont le même effet qu'une bobine de self-induction placée à l'extérieur de la machine, c'est-à-dire que la force contre-électromotrice due à la réaction de cette bobine est en quadrature avec le courant, et par suite, puisque nous prenons un circuit très inductif, en opposition de phase avec la tension aux bornes. Il suffira donc pour obtenir la caractéristique pour un débit donné de retrancher de la tension induite la force électromotrice de self-induction de la bobine à induction fictive et variable avec l'excitation.

Si l'on divise la tension par une certaine excitation par le courant en court-circuit pour la même excitation, le quotient représente l'inductance *apparente* de l'induit.

L'auteur applique ces considérations à l'alternateur triphasé de 500 chevaux à 406 tours, dont les

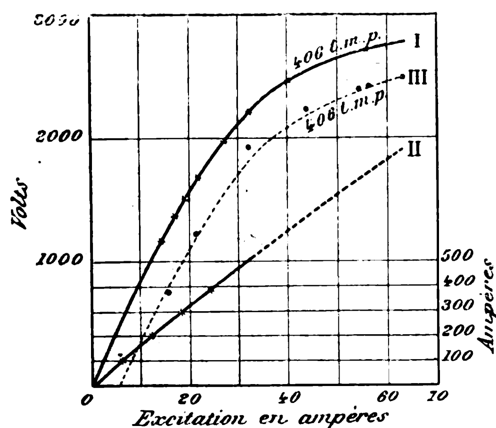


Fig. 3.

deux caractéristiques sont les courbes I et II de la figure 3; la tension composée est de 2 000 volts et la fréquence de 54 périodes.

On a fait travailler cet alternateur sur des moteurs d'induction à vide. Les points marqués correspondent à un courant de 96 ampères. Comme le courant à vide d'un moteur asynchrone est seulement proportionnel à la tension aux bornes, pour les tensions ne donnant pas 96 ampères on a augmenté la chute de tension obtenue en la multipliant par le rapport $\frac{96}{\alpha}$, α étant l'intensité constatée.

La courbe en pointillé est obtenue par point, comme on l'a dit plus haut, en retranchant de la caractéristique à vide la force contre-électromotrice de self-induction apparente de l'induit. Pour une excitation de 62 ampères, la tension induite est de 2760 volts et le courant en court circuit de 920 ampères, la réactance est donc de $\frac{2760}{920} =$ 3 ohms et la force électromotrice de self-induction pour un débit de 96 ampères de $3 \times 96 =$ 288 volts. De même pour d'autres excitations. Le tableau I résume ces calculs.

Tableau I

Courant d'excitation	Tension aux bornes à vides	Intensité du courant de court circuit	Tension aux bornes pour un débit de 96 ampères	Tension aux bornes calculée pour un débit de 96 ampères
62	2760	920	2470	2472
56	2710	840	2410	2400
54	2690	815	2390	2373
44	2550	680	2230	2190
32	2220	510	1900	1802
31	1650	340	1230	1184
15,5	1290	255	747	792

A part les cinq dernières séries de mesures la coïncidence est parfaite [1].

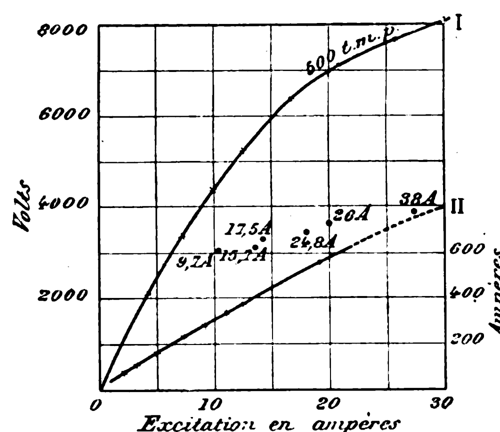


Fig. 4.

En opérant de même avec différentes intensités cette fois sur un alternateur triphasé à fer

[1] Cette discordance montre qu'il ne faut pas prendre, comme le fait M. Behrend, pour appliquer la méthode de

tournant de 175 chevaux sous 5200 volts à 500 tours et 50 périodes, et dont les caractéristiques à vide et en court-circuit sont représentées sur la figure 4, on obtient le tableau II.

TABLEAU II

COURANT d'excitation	TENSION aux bornes à vide	INTENSITÉ du courant de court circuit	TENSION aux bornes pour différents débits	TENSION aux bornes calculée	COURANT DE DÉBIT
10,7	4600	32	3030	3200	9,7
13,7	5600	41	3120	3460	15,7
14,5	5850	43	3290	3470	17.5
18	6650	53	3470	3540	24.8
20	7000	58	3640	3860	26
27,5	7830	75	3910	3870	38

La coïncidence est encore assez bonne.

Dans deux autres essais, M. Behrend fait absorber les courants déwattés par un moteur synchrone.

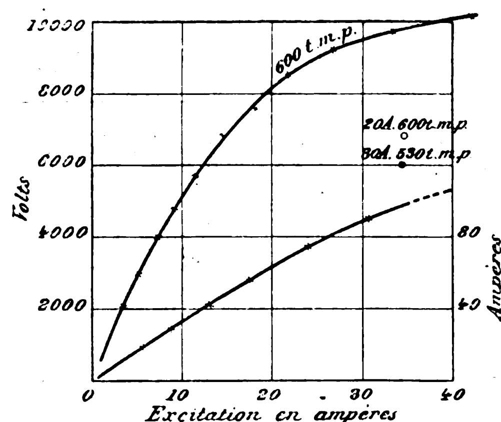


Fig. 5.

La figure 5 représente les caractéristiques à vide et en court-circuit d'un alternateur inducteur triphasé de 450 chevaux sous 6 700 volts à 600 tours et 60 périodes, alimentant un moteur synchrone à vide, on obtient à 530 tours et 6000 volts un courant de 30 ampères pour une excitation de 34,5 ampères, à laquelle correspondent à 600 tours une tension induite de 9 830 volts et un courant de court-circuit de 97 ampères.

Le moteur synchrone avait un courant d'excitation de 11,8 ampères correspondant à une tension induite à vide de 3 900 volts et un courant de court-circuit de 55 ampères.

La chute de tension de la génératrice à 600 tours serait de $9\,830 - 30 \times \frac{9\,830}{97}$ ou 6 760 à 530 elle sera de $\frac{530}{600} \times 6\,760$ ou 5 970 volts au lieu de 6 000 lus.

En partant du moteur synchrone, la tension aux bornes de celui-ci devrait être de $3\,900 + 30 \times \frac{3\,900}{55}$ ou de 6 030 volts.

Finalement M. Behrend considère le cas de deux alternateurs à pôles alternés à 4 pôles et à armature mobile couplée en étoile. L'un des alternateurs fonctionnait comme génératrice et l'autre comme moteur ; les caractéristiques à vide et en court-circuit sont celles de la figure 6 (courbes I et II).

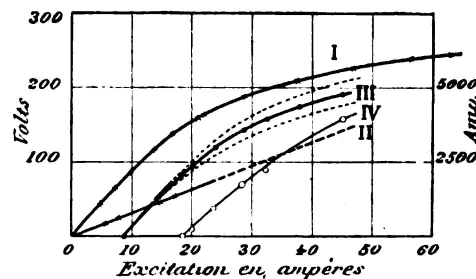


Fig. 6.

Le pas polaire de ces machines est de 77 cm, l'entrefer de 13 cm. Le rapport de la largeur du pôle au pas est de 0,6. Les fuites sont évidemment très petites, ainsi que le montre la faible valeur du rapport des ampères-tours de l'inducteur à ceux de l'induit qui est de 2,3. La puissance apparente est de 200 kilowatts-ampères sous 180 volts à 470 tours, la fréquence est égale à 15,7 périodes par seconde.

En opérant comme dans l'exemple précédent, les mesures pour différentes excitations et un courant constant de 655 ampères avec un facteur de puissance toujours inférieur à 0,2 ont été celles données par le tableau III.

M. Behn-Eschenburg, la résistance apparente correspondant à l'excitation à laquelle on opère, mais comme on le fait généralement, la limite vers laquelle tend la résistance apparente lorsque l'excitation augmente indéfiniment. Ceci tient à ce que les saturations des circuits magnétiques en fer en court-circuit sont totalement différentes de celles correspondant à une marche à la tension normale aux bornes. C. F. G.

TABLEAU III

GÉNÉRATEUR				MOTEUR				
COURANT d'excitation	TENSION lue aux bornes (courbe III)	TENSION induite	AMPÈRES EN court-circuit	TENSION aux bornes calculée	COURANT d'excitation	TENSION induite (courbe IV)	AMPÈRES en court-circuit pour la tension calculée	
18,5	86	147	1430	79,6	0	0	750	19
20	94	154	1550	89	0,8	9	830	20
23,5	118	171	1830	109,8	3,8	35	1100	47,7
28,5	142	188	2200	132	7,5	69	1400	75,6
32	158	198	2500	146,1	9,7	88	1630	94,5
37,5	176	208	2920	161,3	14	119	1940	116,5
45	192	221	3500	179,7	20,3	157	2370	139

La courbe III est celle des tensions observées aux bornes. Les tensions calculées aux bornes du moteur sont obtenues comme dans l'exemple précédent. La courbe IV est celle des tensions induites dans le moteur en fonction de l'excitation de la génératrice. Les chiffres de la dernière colonne sont déduits par le calcul de la tension aux bornes et du courant de court-circuit se rapportant à une excitation correspondant non à la force électromotrice induite, mais aux volts aux bornes, c'est-à-dire à l'excitation de la machine aux laquelle est nécessaire pour produire la tension bornes en circuit ouvert.

La coïncidence est moins bonne que précédemment, cela tient probablement au peu de fuites de ces machines [1]. L'enroulement induit était distribué dans 216 encoches.

La ligne ponctuée située au-dessous de la courbe III représente les valeurs calculées de la tension aux bornes. Celle située au-dessus représente les tensions aux bornes calculées en retranchant des ampères-tours induits des ampères-tours inducteurs.

On voit qu'aucune de ces deux méthodes n'est exacte et que de plus que la méthode employée par M. Behrend peut conduire à des valeurs calculées de la tension plus faibles que celles observées. Ceci n'est certes pas un avantage tant au point de vue théorique qu'à celui de construction, mais la méthode est cependant une méthode de sécurité. La seconde, celle qui consiste à composer les ampères-tours de réaction d'induit conduirait au contraire à des proportions insuffisantes du circuit magnétique inducteur et des bobines inductrices. L'erreur de la première méthode ne dépasse jamais 8,4 p. 100.

Comme la chute est due à l'action combinée des fuites du champ, de la réaction d'induit et des fuites de l'induit une théorie complète devrait tenir compte de ces facteurs. La méthode consistant à déduire l'effet combiné de ces trois facteurs de la caractéristique statique et de la caractéristique en court-circuit ne peut prétendre à pareille chose ; si, de plus, on pouvait réaliser un alternateur sans fuites magnétiques dans l'induit et dans l'inducteur, cette méthode donnerait des résultats insuffisamment exacts. Toutefois, comme à l'heure actuelle les meilleurs alternateurs ont des fuites magnétiques considérables, ceci est suffisant pour rendre la méthode acceptable en pratique.

L'auteur ne veut pas discuter en détail l'influence des facteurs signalés plus haut, il pense toutefois que pratiquement on doit tendre à éviter les fuites ; on diminuera beaucoup les fuites en augmentant la largeur du pas polaire, c'est-à-dire en plaçant les pôles à part, autant que ceci est compatible avec une construction économique.

Ce qui précède montre que s'il est possible de prédéterminer la caractéristique en court-circuit d'un alternateur en tenant compte de tous les facteurs importants, on pourra calculer

[1] Ceci montre que la méthode de M. Behn Eschenburg ne peut s'appliquer lorsque les fuites magnétiques sont assez peu importantes pour ne pas masquer l'influence réelle du *flux direct* dont la compensation n'exige que celle des ampères-tours du courant déwatté dans l'induit. (C.-F. G.)

facilement les dimensions d'un alternateur avec une exactitude suffisante. C'est de cette prédétermination que nous allons nous occuper maintenant.

Si n est le nombre de conducteurs par pôle et par phase, I le courant circulant dans chaque conducteur et x les ampères-tours inducteurs pour un circuit magnétique en court-circuit on a :

$$\lambda N i = x$$

où λ est un coefficient variant avec les dimensions de l'induit et de l'inducteur. La détermination théorique de λ est très difficile, de plus, sa valeur dépend d'un grand nombre d'autres coefficients dont la détermination est aussi incertaine que celle de λ lui-même.

On admet ordinairement qu'on peut déduire facilement λ des ampères-tours inducteurs et induit, à la vérité, s'il n'y a pas de fuites magnétiques dans l'inducteur ni l'induit on trouve en effet que λ varie pour un alternateur triphasé 2,2 et 2,8 en supposant que l'on prend soit la valeur maxima des ampères-tours, soit la valeur moyenne.

Il est intéressant de remarquer que λ varie beaucoup non seulement avec le mode d'enroulement de l'induit, mais aussi avec le rapport de la largeur d'un pôle au pas polaire.

La valeur ainsi calculée dans l'hypothèse de l'absence des fuites peut toutefois être la moitié de celle qui existe en réalité. Ce fait est bien connu des ingénieurs qui ont construit des alternateurs à fortes tensions, soit pour une fréquence assez élevée, soit pour une vitesse assez faible. Beaucoup d'explications de ces divergences constatées ont été proposées, mais aucune n'est acceptable.

M. Behrend dit que depuis plus de trois ans, il a soupçonné que l'explication cherchée résidait dans l'influence de la valeur absolue du pas polaire. La valeur de l'entrefer complique un peu le problème, aussi ce n'est que par l'essai d'un grand nombre de machines qu'il a pu mettre en évidence l'influence qu'il soupçonnait.

Les courbes de la figure 7 représentent les

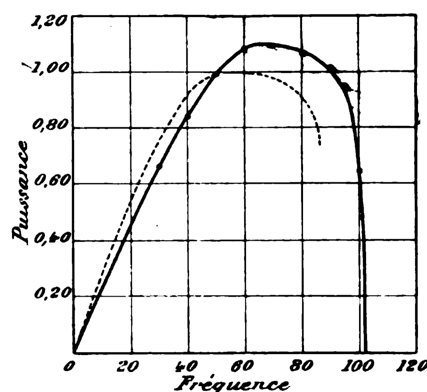


Fig. 7.

valeurs de λ en fonction de la valeur du pas polaire et pour différents entrefers. La courbe I se rapporte à des alternateurs d'un entrefer égal à 1 mm, la courbe II à des entrefers de 3 mm,

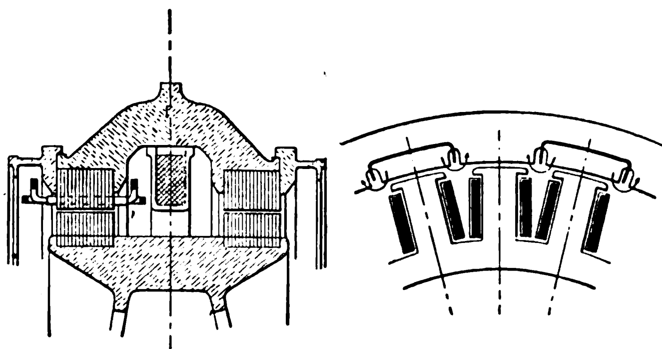


Fig. 8 et 9.

et la courbe III à des entrefers de 5 mm. Toutes les machines essayées étaient du type représenté sur la figure 8 ; le pas polaire des bobines induites était égal au pas polaire de l'inducteur et la largeur des saillies polaires égale ou un peu plus petite que celle du pas.

La principale particularité des courbes de la figure 7 est leur tendance à s'élever rapidement

lorsque le pas polaire est plus petit que 25 cm. Avec de petits pas polaires, l'entrefer a une grande importance. Les courbes semblent tendre vers la même limite lorsque le pas augmente.

On voit que si l'on diminue le pas polaire le flux magnétique émis par chaque pôle diminue dans le même rapport que le pas. Si nous supposons que la résistance magnétique du champ principal reste constante, le rapport du flux de fuite au flux principal augmentera dans le même rapport que le pas polaire a été augmenté puisque la résistance magnétique du champ de fuite décroît dans le même rapport que le pas.

Ceci est évidemment vrai aussi bien pour les fuites de l'inducteur que pour celles de l'induit. La figure 9 montre que les fuites de l'induit restent constantes que l'on change la valeur du pas polaire ou non, mais le champ qui produit une force électromotrice dans ces bobines varie proportionnellement avec le pas de la bobine et le rapport du flux des fuites de l'induit au flux principal varie dans le rapport inverse de ce dernier, c'est-à-dire comme la largeur du pôle ou comme le pas polaire puisque le rapport de ces deux dernières quantités peut être supposé constant.

Avec des alternateurs triphasés à pôles alternés, le faible nombre de machines étudiées par l'auteur ne lui permet pas de construire des courbes analogues avec des pas polaires inférieurs à 20 centimètres. Pour des pas polaires supérieurs à 20 centimètres les valeurs de λ correspondent à celles des courbes I et II, λ augmente aussi avec l'accroissement de l'entrefer pour des entrefers assez grands.

Une deuxième question étudiée par M. Behrend est celle de l'influence de fréquence sur les dimensions d'un alternateur. Considérons par exemple un alternateur établi pour 50 périodes et voyons s'il peut avantageusement être utilisé pour une plus haute ou une plus faible fréquence. La solution peut se déduire facilement des courbes données plus haut.

Comme pour la même tension et le même concours magnétique le nombre total de conducteurs de l'induit reste le même pour toute fréquence (en admettant que l'augmentation des fuites pour des petits pas polaires soit négligeable) et le nombre de conducteurs par pôle et par phase est inversement proportionnel à la fréquence. Les courants de court-circuit I′ et I″ pour une même excitation seront liés par

$$\frac{\lambda' I'}{n'} = \frac{\lambda'' I''}{n''}$$

où λ' et λ'' sont les valeurs de λ pour les deux fréquences n' et n'' respectivement.

Supposons que le pas polaire a la fréquence 50 soit 25 cm, à 80 périodes pour la même vitesse linéaire il serait de $\frac{5}{8} \times 25 = 15,6$ cm. Les valeurs de λ pour un entrefer de 3 mm sont respectivement de 2,75 et 4,15, on a donc

$$I_{80} = I_{50} \times \frac{2,75}{4,15} \times \frac{80}{50} = 1,06\, I_{50}.$$

Le courant de court-circuit sera donc à peu près le même et par suite pour une même chute de tension les puissances de deux machines sont à peu près les mêmes avec pratiquement la même valeur de fer et de cuivre, toutefois la machine à 80 périodes sera plus coûteuse à cause du plus grand nombre de tours et de pôles nécessitant une plus grande quantité d'isolant.

A 40 périodes on aura

$$I_{40} = I_{50} \times \frac{2,75}{2,57} \times \frac{40}{50} = 0,86\, I_{50},$$

la puissance est un peu plus petite.

A 60 périodes nous avons

$$I_{60} = I_{50} \times \frac{2,75}{3,00} \times \frac{60}{50} = 1,1\, I_{50},$$

la puissance est de 10 p. 100 supérieure.

Les résultats pour toutes les fréquences sont résumés dans le tableau IV.

TABLEAU IV

FRÉQUENCE	PAS POLAIRE	λ	PUISSANCE EN P. 100 de la puissance à 50 périodes
30	41,6	2,50	0,66
40	31,2	2,58	0,86
50	25	2,75	1
60	20,8	3,04	1,09
70	17,8	3,52	1,095
80	15,6	4,14	1,06
90	13,9	4,80	1,03
95	13,2	5,54	0,95
100	12,5	8,50	0,65

La figure 10 représente les résultats précédents. La courbe ponctuée correspond aux valeurs obtenues en tenant compte de l'accroissement des fuites pour des fréquences élevées. Au-dessus de 80 périodes la machine correspond à une partie

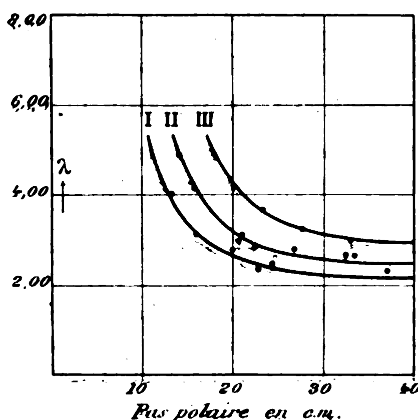


Fig. 10.

de la courbe où la pente est tellement rapide que la prédétermination de la caractéristique de court-circuit serait très difficile à cause de l'exactitude de la valeur de λ.

Dans ce qui précède, on a supposé que l'induction était la même pour toutes les fréquences, ce qui a pour inconvénient d'augmenter les pertes dans le fer avec la fréquence. Une fréquence assez faible pour les moteurs d'induction est désirable, et la valeur du pas polaire y a une importance aussi grande que dans les alternateurs.

Calcul des alternateurs, alternateurs triphasés. — L'emploi des courbes de la figure 7 pour le calcul d'un alternateur est facile à comprendre. Or pour fixer à priori la section totale des conducteurs totaux de l'induit en comptant par exemple 0,5 cm² de cuivre par centimètre de développement de l'induit. Le diamètre étant connu à priori on pourra facilement trouver le nombre de spires des bobines induites en choisissant une valeur de la densité de courant, 3 ampères par millimètres carré par exemple. L'équation (1) fournit ensuite le flux émanant d'un pôle, la constitution du circuit magnétique est alors définie et avec elle la caractéristique à vide. Les courbes 7 permettent ensuite de déterminer la valeur λ et par suite la caractéristique en court-circuit.

En ce qui concerne le couplage en parallèle des alternateurs à fréquence assez élevée, M. Behrend pense que la difficulté d'accouplement constatée quelquefois tient à la petitesse du pas polaire et non à la fréquence.

Alternateurs diphasés. — Si l'on prend un alternateur triphasé, qu'on sépare les trois phases et qu'on en mette deux en série, les tensions dans les deux circuits ne sont pas égales mais sont dans un rapport égal à $\frac{1}{\sqrt{3}}$ et de plus en quadrature, si on forme ces deux phases en court-circuit chacune sur elle-même la somme des courants de court-circuit pour une même excitation est égale à la somme des courants de court-circuit dans les trois phases de l'alternateur triphasé supposé monté en étoile.

La différence entre les alternateurs diphasés ordinaires et le précédent, est que dans les premiers, chaque phase a deux trous par pôle tandis que dans le second l'une des phases n'a qu'un seul trou par pôle, aussi le courant de court-circuit sera-t-il plus petit dans les machines diphasées ordinaires que dans l'alternateur diphasé considéré.

On peut prendre d'après ce qui précède pour valeur de λ dans le cas des alternateurs diphasés les 2/3 de la valeur correspondante pour courants triphasés.

Alternateurs monophasés. — La valeur de λ est tantôt un peu moindre, tantôt un peu plus grande que la moitié de celle qui correspond aux machines à courants triphasés. Ceci montre que pour une même chute inductive de tension, un alternateur enroulé pour courant monophasé donne une puissance la moitié de celle du même alternateur enroulé pour courants triphasés ; mais comme la charge d'un alternateur monophasé est en général un circuit d'éclairage ayant par suite un facteur de puissance voisin de l'unité, un alternateur monophasé peut facilement être enroulé par la même puissance apparente qu'une génératrice triphasée.

La valeur de λ dépend du nombre d'encoches par pôle : les valeurs de λ pour deux alternateurs de carcasses identiques enroulés pour une phase et trois phases sont :

1° monophasé, un trou par pôle λ = 1,56
2° » deux trous par pôle λ = 1,39
3° triphasé, trois trous par pôle λ = 2,90

Les puissances correspondantes pour une

même chute inductive sont respectivement de

$$\frac{E}{1,50} = 0,64\,E, \quad \frac{\sqrt{3}\,E}{1,39} = 0,622\,E, \quad \frac{3\,E}{2,90} = 1,03\,E.$$

Comme conclusion M. Behrend pense, que la théorie ou plus exactement la méthode de M. Behn Eschenburg tout en n'étant pas exacte théoriquement donne d'assez bons résultats en pratique. Il est de plus convaincu qu'aucune autre méthode plus exacte ne permettra de déterminer l'inductance apparente de l'induit, aussi simplement et avec autant d'exactitude que la méthode suivie plus haut. C.-F. G.

Sur la théorie de l'accumulateur au plomb, par **Martin Mugdan**. *Zeitschrift für Elektrochemie*, t. VI, p. 309-320, 7 décembre 1899.

Les nombreux travaux publiés pendant ces dernières années, sur la théorie de l'accumulateur tendent pour la plupart — exception faite pour les théories de Elbs [1] et de Darrieus [2] — à démontrer la réversibilité de celui-ci.

Mais ces travaux théoriques, ceux de Dolezalek [3] notamment, qui confirment l'hypothèse de la double sulfatation, ne s'appliquent qu'à des courants infiniment petits; des doutes pouvaient néanmoins subsister encore lorsque, en pratique, on a affaire à des courants plus intenses ainsi qu'à un électrolyte acide assez étendu.

Par une série d'expériences faites à la fabrique d'accumulateurs de Marly-le-Grand (Suisse), M. Martin Mugdan a entrepris de lever ces doutes.

I. Détermination de la quantité de sulfate formé pendant la décharge. — Dans une première série d'expériences, M. Mugdan monte 12 éléments dont 6 composés d'une positive entre 2 négatives et 6 autres d'une négative entre 2 positives.

Après formation des plaques, consistant en quelques décharges et surcharges successives de façon à ramener le sulfate à l'état de PbO^2 et de Pb, les plaques furent lavées soigneusement à l'eau de façon à enlever l'acide sulfurique : puis les éléments furent remplis avec des solutions d'acide sulfurique de densités différentes.

Deux des éléments restant isolés, comme éléments de contrôle, les autres furent déchargés à une densité de courant de 0,02 ampère par cm^2 pendant 20 minutes. Après interruption les plaques furent sorties des éléments et lavées à fond à l'eau distillée jusqu'à élimination complète de l'acide.

Chaque plaque fut ensuite placée dans un petit vase, en regard d'une plaque de platine d'égale grandeur, chaque vase étant rempli de 100 cm^3 d'acide sulfurique au 1/20 (D = 1,0306). Afin d'éviter les pertes par projection chaque vase était mis dans un autre plus grand et couvert d'une plaque de verre. Les 12 éléments réunis en tension étaient chargés par un courant d'intensité faible et subissaient quelques décharges et surcharges successives afin de décomposer le SO^4Pb en PbO^2 et Pb et de faire rentrer l'acide sulfurique en solution. Les vases et les plaques étaient ensuite lessivés à fond à l'eau distillée de façon à enlever toute trace d'acide, et dans chaque liquide on titrait l'acide sulfurique ; la quantité initiale étant connue, on en déduisait la quantité apportée par la charge et par suite la proportion de sulfate formé pendant la décharge.

Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau suivant :

Tableau I

	Sulfate de plomb formé en p. 100 de la quantité théorique d'après la double sulfatation	
	Plaque positive	Plaque négative
1 Plaque Pollak déchargée dans acide à 26 p. 100 (D = 1,1815)	94,0	100,0
2 Plaque Pollak déchargée dans acide à 10 p. 100 (D = 1,0686)	90.1	98,7
3 Plaque Pollak non déchargée, dans acide à 26 p. 100	0,6	1,9
4 Plaque à grille perforée déchargée dans acide à 26 p. 100.	9,8	7,2
5 Plaque à grille perforée déchargée dans acide 10 p. 100	80,3	21,7
6 Plaque à grille perforée déchargée dans une solution de sulfate de soude à 14 p. 100.	2,6	70,4

(1) *Écl. Élect.*, t. XXI, p. 256, et t. II, p. 368.

(2) *Écl. Élect.*, t. XIV, p. 370, 498, 555.

(3) *Écl. Élect.*, t. XVII, p. 490.

A l'interruption de la décharge, la positive n° 2 avait 1,75 volt comme différence de potentiel mesurée avec une négative témoin non traversée par le courant, les deux plaques 1 et la négative 2 donnaient une différence de potentiel plus élevée.

La négative 5 tomba à 0 volt après 4 minutes de décharge, de sorte que le sulfate formé se convertit en peroxyde à partir de ce moment et la plaque dégagea de l'oxygène.

La positive 5 avait aussi une différence de potentiel un peu au-dessous de la valeur normale.

Les plaques déchargées dans le sulfate de soude ont une différence de potentiel normale ; comme on le voit la positive ne se sulfate pas, elle s'oxyde seulement ; la négative au contraire se sulfate en grande partie.

De cette expérience, l'auteur conclut que la quantité de sulfate qui se forme pendant la décharge, même avec un acide de faible densité et une forte densité de courant correspond essentiellement à la théorie de la double sulfatation.

II. Détermination de la quantité d'acide sulfurique absorbée par les plaques après décharge. — Dans une deuxième série d'expériences, les plaques déchargées au lieu d'être rechargées de façon à en extraire l'acide sulfurique, étaient mises en contact dans un petit verre avec 50 cm³ d'une solution d'acide sulfurique normal. S'il y avait formation d'oxyde, l'acide sulfurique devait être absorbé. Après lessivage des plaques, on titrait l'acide sulfurique restant.

En cas de sulfatation totale à la décharge, les plaques déchargées et non déchargées ne devaient pas se comporter différemment.

Les plaques essayées étaient du système Pollak, de dimensions 4×7 cm et 4×5 cm, découpées dans de grandes plaques. Les unes furent mises dans l'acide sulfurique normal ; les autres, dans une solution de sulfate de soude. Les éléments montés en série furent déchargés à 1 ampère (correspondant à une densité de courant de 0,018 et 0,025 ampère par cm²) et la décharge fut interrompue après 15 minutes.

Les tableaux II et III montrent les résultats obtenus.

Le quatrième tableau se rapporte à des plaques positives déchargées seulement 9 minutes à 1,0 ampère.

Tableau II

Plaques positives	Quantité d'acide disparu exprimée en cm³ d'acide normal		
	après 1 h. d'action de l'acide	après les 2 heures suivantes	après les 120 h. suivantes
Non déchargée	6,4	5,6	32,7
Déchargée dans acide normal (densité de courant 0,018) amp. par cm²	7,7	3,5	30,4
Déchargée dans acide normal (densité de courant 0,025) amp. par cm²	6,1	2,6	18
Déchargée dans une solution de Na^2SO^4 (densité de courant 0,018) amp. par cm²	14,9	7,7	25

Tableau III

Plaques négatives	Quantité d'acide disparu exprimée en cm³ d'acide normal		
	après 1 h. d'action de l'acide	après les 24 h. suivantes	après les 70 h. suivantes
Non déchargée	0,7	0,4	1,5
Déchargée dans acide normal, densité de courant 0,018 amp. par cm²	0,75	0,5	2,0
Déchargée dans acide normal, densité de courant 0,025 amp. par cm²	4,6 (plaque restée un temps court à l'air)	0,6	
Déchargée dans solution SO^4Na^2, densité de courant 0,018 amp. par cm²	1,5	0,4	0,7

Tableau IV

Plaques positives	Quantité d'acide disparu exprimée en cm³ d'acide normal.	
	après 3 h. 1/2 d'action de l'acide	après les 16 h. suivantes
Non déchargée	9,3	4,6
Déchargée dans acide normal (densité de courant 0,018 amp. par cm²)	7,8	3,6
Déchargée dans acide normal (densité de courant 0,025 amp. par cm²)	6,9	2,5
Déchargée dans solution SO^4Na^2 (densité de courant 0,018 amp. par cm²)	16,4	7,5

Ces tableaux prouvent que même dans l'acide faible à 4,9 p. 100 et avec des densités élevées de courant 0,018 et 0,025 amp : cm^2 on ne peut admettre la formation d'oxyde pendant la décharge.

Dans la solution de SO^4Na^2, la positive s'oxyde pendant la décharge, ainsi qu'on peut le déduire des chiffres plus élevés pour l'absorption d'acide.

Les valeurs croissantes d'absorption pour les positives, proviennent d'après l'auteur, de l'action locale, la surface coupée du quadrillage n'étant pas suffisamment formée.

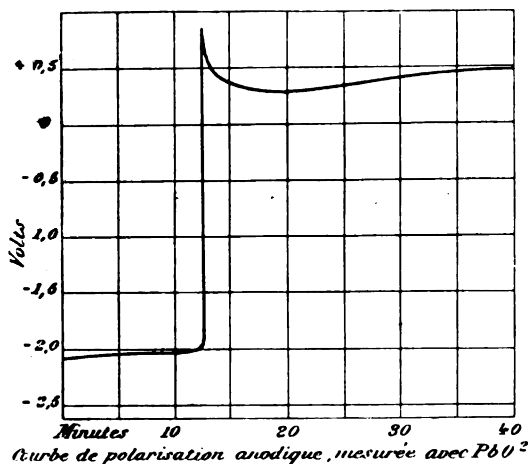
III. Sulfatation de l'oxyde de plomb. — Afin de démontrer que la formation de sulfate ne provenait pas d'une action secondaire de l'acide sur l'oxyde formé, l'expérience suivante fut faite sur une plaque négative. Celle-ci fut exposée à l'air de façon à l'oxyder, ce que l'on constate par une élévation de température ; la plaque était ensuite refroidie à l'eau froide, séchée puis mise en contact, comme dans l'expérience II, avec 50 cm^3 d'acide sulfurique normal.

Les quantités d'acide absorbé furent :

	cm^3	total en cm^3
Acide absorbé après 15 minutes d'action de l'acide.	2,7	2,7
Acide absorbé après les 60 minutes suivantes	3,9	6,6
Acide absorbé après les 5 heures suivantes	14,4	21,0
Acide absorbé après les 45 heures suivantes.	0,65	21,65

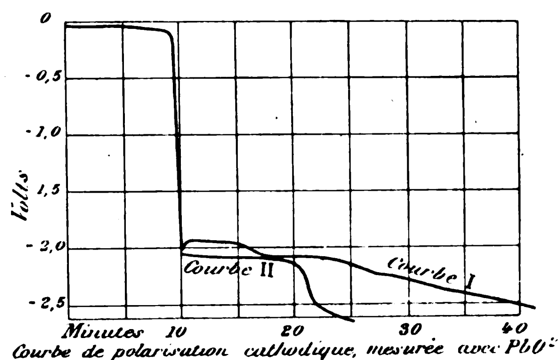
Si on se rappelle que dans l'expérience II, la décharge et par suite l'action de l'acide ne durait que 15 minutes, on peut en déduire que la quantité de sulfate formé ne peut provenir d'une action secondaire.

IV. Courbes de polarisation du plomb. — Les observations suivantes viennent confirmer



Courbe de polarisation anodique, mesurée avec PbO^2

Fig. 1.



Courbe de polarisation cathodique, mesurée avec PbO^2

Fig. 2.

une fois encore que les seuls corps qui jouent un rôle dans la décharge sont uniquement Pb, PbO^2 et SO^4Pb.

Une lame de plomb de 10 dm^2 de surface totale recouverte d'une couche très faible de plomb spongieux était montée entre 2 positives de mêmes dimensions mais de très grande capacité (80 ampères-heure) dans l'acide à 20 p. 100 (D = 1,153 = 19,15 B). La lame de plomb étant prise comme anode, on chargeait avec un courant de très faible densité I = 1 ampère et on notait la différence de potentiel aux bornes de l'élément toutes les 15 secondes. On obtenait alors la courbe (fig. 1).

Après une longue surcharge, on inversait ensuite le courant, la plaque étudiée devenant ainsi cathode ; on obtenait la courbe I de la figure 2.

On remarque que ces courbes se composent de deux parties horizontales qui correspondent aux équilibres Pb | $PbSO^4$ et PbO^2 | $PbSO^4$ et que ces deux parties sont reliées aux abscisses 12,5 et 10 par une brusque inflexion, qui montre qu'aucune autre réaction que la forma-

tion de sulfate n'a lieu. Après chaque inflexion brusque on trouve une pointe de la courbe provenant de l'augmentation de résistance due à la sulfatation.

Sur la courbe II de la figure 2 est représentée la polarisation cathodique dans le cas où on aurait arrêté la polarisation anodique (fig. 1) avant l'inflexion brusque. On voit ici que la deuxième partie de la courbe est très sensiblement horizontale avec une chute rapide correspondant au dégagement d'hydrogène.

Le phénomène est troublé dans le cas de la courbe 1 de la figure 2 par une action locale entre le Pb et le PbO^2 qui existent ensemble à ce moment sur la plaque.

V. Influence de l'acide persulfurique sur la force électromotrice. — Pour démontrer que s'il se forme de l'acide persulfurique à la fin de la charge, celui-ci ne peut avoir le rôle que lui attribue Darrieus, 2 plaques de plomb sont disposées horizontalement ; l'élément est formé, la plaque inférieure munie d'un rebord étant positive et la plaque supérieure perforée étant négative. Avec une pipette, si on fait couler au travers de la négative sur la positive un peu de solution sulfurique à 25 p. 100 renfermant 3 p. 100 d'acide persulfurique, on trouve un abaissement de la force électromotrice et il se dégage de l'oxygène ozonisé.

VI. Indépendance de la force électromotrice avec le sulfate de plomb. — M. Mugdan démontre que la force électromotrice est indépendante de la quantité de sulfate de plomb formée sur les plaques par l'expérience suivante : il prit deux petites négatives chargées, l'une fut laissée au repos, et l'autre déchargée à 0,5 ampère pendant 3 heures, entre deux positives, la différence de potentiel finale étant 1,80 volt.

Les plaques furent ensuite suspendues, isolées l'une de l'autre, dans un verre avec le même acide que celui de l'élément. Après 4 jours, alors qu'on pouvait considérer l'équilibre de diffusion établi, la plaque déchargée se montrait positive de 0,003 volt sur la plaque non déchargée.

Les plaques furent ensuite portées à une distance de quelques millimètres l'une de l'autre et soudées ensemble. Après 63 heures, les plaques furent séparées à nouveau et on mesura la différence de potentiel. La plaque déchargée se montra alors un peu plus négative que l'autre.

Les deux plaques furent enfin montées entre 2 positives et les éléments chargés à 0,1 ampère. Après 1 minute la plaque non déchargée indiquait la force électromotrice maxima et il se dégageait de l'hydrogène ; cette plaque n'avait donc rendu à la plaque déchargée à 90 ampères-minute que 0,1 ampère-minute, c'est-à-dire qu'il n'y avait pas eu transport d'électricité de l'une à l'autre et qu'aucune différence de potentiel n'existait entre les plaques.

VII. Variation de la force électromotrice avec la concentration de l'acide. — Dolezalek a déterminé la variation de la force électromotrice de l'accumulateur en considérant un cycle isotherme de vaporisation.

Afin de rechercher l'influence de la concentration sur chacune des deux électrodes, M. Mugdan étudie les deux chaînes de concentration.

$Pb, PbSO^4, H^2SO^4$ étendu | H^2SO^4 concentré, $PbSO^4, Pb$,

et

$PbO^2, PbSO^4, H^2SO^4$ étendu | H^2SO^4 concentré, $PbSO^4, PbO^2$

Le calcul de la force électromotrice de ces deux chaînes s'effectuant à l'aide de la théorie osmotique de Nernst, nous analyserons ici brièvement cette théorie.

Théorie osmotique de Nernst. — On sait que sous l'influence d'une force déterminée au sein d'une solution, les ions se déplacent avec des vitesses différentes, l'anion avec une vitesse u et le cathion avec la vitesse v.

Le travail nécessaire pour transporter la quantité d'électricité $+ \mathcal{E}'$ du potentiel P_1 au potentiel P_2 et simultanément $- \mathcal{E}''$ du potentiel P_2 au potentiel P_1 est $(P_2 - P_1)(\mathcal{E}' + \mathcal{E}'')$.

Comme dans un électrolyte les quantités d'électricité cheminent avec les ions, il sera facile de calculer la force électromotrice régnante entre deux solutions du même électrolyte quand on connaîtra le travail nécessaire au transport d'une solution à l'autre des ions liés à la quantité d'électricité $\mathcal{E}' + \mathcal{E}'' = 1$.

Les travaux de Hittorf et plus récemment de Kohlrausch ont montré que pour une intensité i, la quantité d'électricité $i \frac{u}{u+v}$ chemine comme électricité positive dans le sens du courant,

pendant l'unité de temps, et la quantité $i\frac{v}{u+v}$ comme électricité négative en sens inverse.

Nous aurons donc à faire ici $\mathcal{E}' = \frac{u}{u+v}$ et $\mathcal{E}'' = \frac{v}{u+v}$ et à calculer le travail nécessaire au transport des ions positifs liés à $\mathcal{E}'$ de la solution la plus étendue à la plus concentrée, et des ions négatifs liés à $\mathcal{E}''$ de la plus concentrée à la plus étendue.

La pression osmotique de l'anion et naturellement aussi du cathion étant p_1 dans une solution et p_2 dans l'autre, les deux travaux considérés seront égaux à

$$\frac{u}{u+v}\int_{p_1}^{p_2} V dp \text{ et } \frac{v}{u+v}\int_{p_2}^{p_1} V dp,$$

v étant le volume qu'occupe à la pression p la quantité d'anion (ou de cathion) à laquelle est liée la quantité d'électricité $+1$ (ou -1).

En appelant p_0 la pression dans une solution qui contient dans l'unité de volume la quantité d'électricité $+1$ (ou -1) liée au cathion (ou à l'anion), on a d'après la loi de Mariotte

$$pV = p_0,$$

et la somme des deux travaux donne pour la force électromotrice

$$P_1 - P_2 - \frac{u-v}{u+v} p_0 \log_{nep.} \frac{p_1}{p_2}. \qquad (1)$$

Pour $u > v$ et $p_1 > p_2$, $P_1 - P_2$ est positif, ce qui signifie que dans ce cas le courant va de la solution plus concentrée à la plus étendue.

Pour obtenir $P_1 - P_2$ en unités électromagnétiques, il faut exprimer p_0 dans ces unités.

Considérant qu'un ampère-seconde libère $1{,}037 \times 10^{-5}$ gr d'hydrogène, la masse d'hydrogène qui cheminera avec la quantité d'électricité $+1$ (unités C. G. S.) est

$$1{,}037.10^{-4} \text{ gr.}$$

Sachant d'autre part qu'une molécule-gramme d'un corps occupant un volume d'un litre exerce à 0° C. une pression osmotique de 22,35 atmosphères, pour un volume de 1 cm³ la pression serait 22 350 atmosphères ou

$$22350.1{,}033 = 23080 \text{ kg. par cm}^2,$$

ou encore

$$23080.981000 \text{ dynes par cm}^2.$$

Cette pression correspondant à 2 gr d'hydrogène pour 1 cm³, on a pour p_0

$$p_0 = \frac{23080.981\,000.1{,}037.10^{-4}}{2} \text{ (C.G.S.)},$$

ce qui donne, en divisant par 10^{-8} pour avoir la force électromotrice en volts

$$E_1 - E_2 = \frac{0{,}02347}{2}\frac{u-v}{u+v}\log_{nep.}\frac{p_1}{p_2} \text{ volts}, \quad (2)$$

à la température 0° C; ou bien, en considérant que p_0 est proportionnel à la température absolue T,

$$E_1 - E_2 = \frac{0{,}860\,T}{2}\frac{u-v}{u-v}\log_{nep.}\frac{p_1}{p_2}.10^{-4} \text{ volts}. \quad (3)$$

Le facteur $0{,}860\ 10^{-4}$ est la « constante électrolytique des gaz », c'est comme on voit la pression dans un espace qui renferme 1 gr d'hydrogène (ou une quantité équivalente d'un autre élément ou radical) par cm³ et à la température de 1 degré absolu.

Chaîne de concentration. — Pb, $\overset{+}{Pb}SO^4$, H^2SO^4 étendu | H^2SO^4 concentré, $Pb\underline{SO}^4$, Pb. Pour une quantité d'électricité 2 F correspondant à 2 gr d'hydrogène (F = 96 540 coulombs), un ion-gramme SO^4 disparaît de la solution concentrée sous forme de Pb SO^4; par contre, une quantité $\frac{v}{u+v}$ ions-grammes SO^4 passe par migration de la solution étendue à la solution concentrée. La diminution des anions devient donc $1 - \frac{v}{v+u} = \frac{u}{u+v}$ ions-grammes.

D'autre part $2\frac{u}{u+v}$ ions-grammes H cheminent avec le courant positif.

Il passe donc, de la solution concentrée à la solution étendue $2\frac{u}{u+v}$ cathions et $\frac{u}{v+u}$ anions, soit en tout $3\frac{u}{u+v}$ ions-grammes par le passage de 2 F.

---

[1] *Die elektromotorische Wirksamkeit der Jonen*, du Dr Walther Nernst.

Les concentrations p_1 et p_2 étant exprimées en molécules-grammes par litre, la force électromotrice est

$$\Pi_{Pb} = -3\,\frac{u}{u+v}\,\frac{0{,}860}{2}\,10^{-4}\,T\,\log_{nép.}\frac{p_1}{p_2}. \qquad (1)$$

Chaîne de concentration. — PbO^2, $Pb\,SO^4$, H^2SO^4 étendu | H^2SO^4 concentré, $Pb\,SO^4$, PbO^2. Ici le courant va de la solution étendue à la solution concentrée.

Dans la solution concentrée 1 ion-gramme SO^4 disparaît par suite de la formation de $Pb\,SO^4$; de plus $\frac{v}{v+u}$ ions-grammes SO^4 cheminent avec l'électricité négative. La diminution totale des anions à la solution concentrée est

$$1 + \frac{v}{u+v} = 2 - \frac{u}{u+v} \text{ ions-grammes ;}$$

O^2 étant disponible au pôle positif, se lie à 4 H, il disparaîtra donc de la solution concentrée 4 ions-grammes H ; comme d'autre part $2\,\frac{u}{v+u}$ ions-grammes H cheminent avec l'électricité positive, la diminution totale des cathions dans la solution concentrée deviendra

$$4 - 2\,\frac{u}{u+v} = 2\left(2 - \frac{u}{u+v}\right).$$

Il en résulte que par le passage de la quantité d'électricité 2 F il passe $3\left(2 - \frac{u}{u+v}\right)$ ions-grammes de la solution concentrée à la solution étendue.

Ce qui donne pour cette partie du travail

$$\Pi_1 = +\frac{3}{2}\left(2 - \frac{u}{u+v}\right)0{,}86.10^{-4}\,T\,\log_{nép.}\frac{p_1}{p_2}.$$

De plus, par suite de la production de 2 H^2O à l'anode, il convient d'ajouter le travail de transport de ces deux molécules d'eau, soit

$$\Pi_2 = +\,0{,}86.10^{-4}\,T\,\log_{nép.}\frac{c_2}{c_1}.$$

c_2 étant la concentration des molécules d'eau dans la solution étendue, et c_1 dans la solution concentrée.

Si on ne considère que des électrolytes étendus, cette dernière valeur est faible, et on peut remplacer avec suffisamment d'approximation $\log_{nép}\frac{c_2}{c_1}$ par $\frac{c_2 - c_1}{c_1}$.

On peut remplacer également c par $\frac{1000}{18} - 3\,p$.

$3\,p$ exprimant le nombre d'ions par litre d'électrolyte.

Il vient alors dans le cas de dilution suffisante

$$\log_{nép.}\frac{c_2}{c_1} = \frac{3(p_1 - p_2)}{c_1} = \frac{3(p_1 - p_2)}{55{,}5}.$$

et

$$\Pi_2 = 3.0{,}86.10^{-4}\,T.0{,}018\,(p_1 - p_2).$$

La force électromotrice de la chaîne doit donc avoir pour valeur

$$\Pi_{PbO^2} = \Pi_1 + \Pi_2 = 3.0{,}86.10^{-4}\,T\left[\frac{1}{2}\left(2 - \frac{u}{u+v}\right)\log_{nép.}\frac{p_1}{p_2} + 0{,}018\,(p_1 - p_2)\right]. \qquad (2)$$

Vérifications expérimentales. — Les équations 1 et 2 furent vérifiées expérimentalement par M. Martin Mugdan en mesurant la force électromotrice entre solutions de différentes dilutions à l'aide d'un millivoltmètre de précision Siemens et Halske.

Le tableau suivant donne les valeurs comparatives des forces électromotrices observées et calculées.

CONCENTRATION des solutions en grammes-molécules par litre	FORCES électromotrices en volts aux négatives		FORCES électromotrices en volts aux positives	
	observées	calculées	observées	calculées
$\frac{3}{8} - \frac{3}{32}$ gr. mol.	—0,0308	—0,0329	0,0444	0,0446
$\frac{3}{4} - \frac{3}{32}$ »	—0,0462	—0,0494	0,0664	0,0676
$\frac{3}{16} - \frac{3}{32}$ »	—0,016	—0,0165	0,023	0,0224
$\frac{3}{8} - \frac{3}{16}$ »	—0,015	—0,0165	0,0225	0,0225
$\frac{3}{4} - \frac{3}{8}$ »	—0,017	—0,0165	0,021	0,0227
$\frac{3}{2} - \frac{3}{4}$ »	—0,021	—0,0165	0,029	0,0231
$3 - \frac{3}{2}$ »	—0,0315	—0,0165	0,052	0,0238

La température était 17° C. Pour le calcul, $\frac{u}{u+v}$ fut pris égal à 0,85, chiffre moyen pour les concentrations de 2 à 5 p. 100. D'autre part,

à cause de la dissociation incomplète, le facteur 3 fut remplacé par 2,22 qui résulte de la détermination du point de congélation de Loomis.

La concordance est remarquable pour les solutions étendues; l'équation n'est plus valable pour les solutions concentrées.

La variation de la force électromotrice de l'élément avec la concentration sera donnée par

$$\Pi = \Pi_{PbO^2} - \Pi_{Pb} = 3.0,86.10^{-4}T\left[\log_{nép.}\frac{p_1}{p_2} + 0.018(p_1 - p_2)\right]$$

équation identique à celle trouvée par Dolezalek [1] pour les solutions étendues.

Le tableau précédent montre que la variation de la force électromotrice avec la concentration est 1,4 fois plus grande à la positive qu'à la négative. Si, pendant la décharge la concentration de l'acide diminuait également aux deux plaques, le potentiel de la positive devait donc varier 1,4 fois plus rapidement que celui de la négative.

Mais la théorie montre que la concentration diminue plus rapidement à la positive qu'à la négative. L'expérience vient confirmer ce fait ainsi qu'on le voit par les courbes de la figure 3 qui indiquent les variations de potentiel de la positive et de la négative pour une décharge et une charge lentes. Les deux plaques considérées ici étaient des plaques à grilles de mêmes dimensions et renfermant la même quantité de Pb dans la matière active; elles étaient montées dans deux éléments placés en série et comparées comme potentiel, la positive avec une positive non traversée par le courant, et la négative avec une négative également isolée.

La quantité d'électrolyte était suffisante pour qu'il n'y ait pas de variation sensible dans sa densité pendant la décharge. Les intensités de charge et de décharge étaient égales.

Les courbes de la négative restent symétriques par rapport à l'axe des abscisses; pour la positive, la courbe de charge s'éloigne plus que celle de décharge.

Avant la fin de la charge de la positive, à 0,15 volt environ, commence la décharge des ions SO^4 avec dégagement d'oxygène.

On constate aussi que la capacité de la positive est plus faible que celle de la négative.

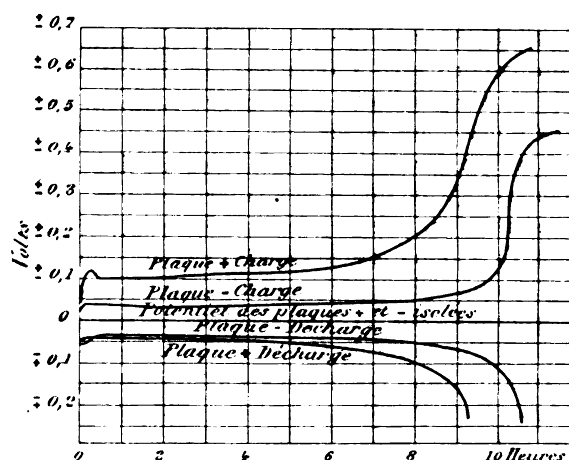


Fig. 3.

La forme logarithmique des courbes de décharge peut s'expliquer si on suppose que la concentration dans les plaques peut se représenter par $p - Ay$ en appelant p la concentration restante, y le temps de décharge, et A une constante dépendant du type de plaque et de l'intensité du courant. La chute du potentiel au temps y sur le potentiel initial serait alors donné par

$$x = B \log \frac{p}{(p - Ay)}$$

L. Jumau.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE

(*Séances de Pâques.*)

La Société française de Physique n'avait pas, cette année, adressé son appel ordinaire aux constructeurs, occupés à préparer l'Exposition universelle. Nous n'avons pas revu les salles de l'hôtel de la Société d'encouragement remplies, comme tous les ans, d'une foule toujours plus nombreuse qui se presse autour des appareils

[1] *L'Éclairage Électrique*, t. XVII, p. 490.

nouveaux ou de brillantes expériences. Pourtant ce que nous avons vu et surtout entendu cette année n'est pas de nature à nous faire regretter le spectacle habituel ; la Société de physique, en nous offrant autre chose que ce qu'elle nous avait présenté jusqu'ici, a simplement montré qu'elle pouvait nous intéresser de plusieurs façons bien différentes et la conclusion qu'ont tirée toutes les personnes qui ont assisté aux séances de vendredi et samedi c'est que l'exposition annuelle pourra devenir une attraction encore plus importante, si on lui adjoint des conférences telles que celles que nous avons entendues cette année.

Les physiciens avaient monté des expériences déjà connues de nos lecteurs : M. Rothé présentait un interrupteur de Wehnelt et montrait l'existence de deux régimes du courant ; M. Dongier faisait voir l'influence d'un champ magnétique sur la polarisation de la lumière sortant d'un tube de Geissler ; dans un appareil d'Arsonval pour les courants à haute fréquence, on remarquait les curieux effets de décomposition d'une décharge qu'on produit en soufflant l'étincelle par le mouvement de l'excitateur entraîné par un petit moteur. On pourrait, en réglant la vitesse de rotation obtenir des apparences très variées d'immobilité ou de mouvement lent des traits lumineux.

M. Cotton a présenté et décrit un appareil de mesure des champs magnétiques par la balance avec lequel nos lecteurs pourront faire plus ample connaissance dans un article original. Disons seulement que la méthode, très propre aux mesures du champ dans les entrefers étroits consiste à déterminer la force subie par une bande de cuivre plat d'un ou deux centimètres de long traversée par un courant ; cette bande fait partie d'un circuit enroulé sur une lame isolante limitée par deux arcs de cercle concentriques et deux rayons ; les forces qui agissent sur les arcs ont une résultante qui passe par l'axe de suspension ; la seconde partie radiale est assez éloignée pour être dans un champ insensible.

Sur l'invitation de M. Poincaré, secrétaire général, M. Langevin, qui vient d'aller passer une année au laboratoire Cavendish, à Cambridge a exposé les idées de M. J.-J. Thomson sur l'*ionisation des gaz*.

On n'a connu pendant longtemps que trois procédés permettant de faire passer de l'électricité à travers les gaz : la décharge disruptive, étincelle ou aigrette, l'élévation de température, qui rend conducteurs presque tous les gaz et enfin l'action de la lumière ultra-violette sur les métaux chargés négativement ; cette action a été d'abord attribuée à une pulvérisation du métal.

La découverte des rayons X et l'étude développée des rayons cathodiques qui l'a suivie ont apporté des idées nouvelles sur la question. On a constaté d'abord que les rayons X mettent les gaz dans un état particulier qui leur permet de livrer passage à une certaine quantité d'électricité. Cet état persiste pendant quelque temps après que les rayons X ont cessé d'agir.

MM. J.-J. Thomson et Rutherford font tomber des rayons X à l'intérieur d'un tube d'aluminium traversé par un courant d'air qui va rencontrer à la sortie une cage de toile métallique à mailles larges, à l'intérieur de laquelle se trouve un électroscope à feuilles d'or. Tant que l'air reste immobile il ne se produit pas de décharge (l'appareil producteur de rayons X étant enfermé dans une caisse de plomb munie de fenêtres d'aluminium) ; si l'air est en mouvement la décharge se produit, à condition qu'il n'y ait pas une trop grande distance entre l'électroscope et la région traversée par les rayons Rœntgen.

L'électrisation qu'acquièrent les gaz et qui persiste ainsi n'est pas immobile ; elle se déplace avec une vitesse finie ; pour le montrer on emploie un condensateur dont les armatures sont en toile métallique ; l'une d'elles, qui est isolée, est reliée à l'électromètre ; elle ferme un tube métallique par lequel on pourra insuffler de l'air.

Si l'on fait passer des rayons Rœntgen entre les deux armatures, le condensateur se décharge, mais si un courant d'air, purifié de poussières par son passage sur un tampon de coton de verre, traverse le condensateur on pourra régler sa vitesse de telle façon que l'entraînement du gaz compense le déplacement de l'électrisation et que l'électromètre reste chargé. On mesure ainsi la *mobilité* des charges ; d'après M. Rutherford elle correspondrait à une vitesse moyenne de 1,6 cm par seconde dans un champ de 1 volt par centimètre.

Les ions négatifs vont un peu plus vite que les

ions positifs, d'après les expériences de M. Zeleny.

Les mêmes valeurs des deux vitesses résultent des expériences faites par M. Chattock sur la décharge en aigrette entre une pointe et un plan, au voisinage duquel on détermine la pression. Les ions mis en liberté dans un gaz à la pression atmosphérique sont donc les mêmes dans la décharge et sous l'action des rayons X.

M. Giesel semble avoir le premier, en 1882, émis l'hypothèse que la conductibilité des gaz était due, comme celle des liquides, à la présence de ions libres ; cette théorie a été développée par M. Schuster. Une question intéressante est celle-ci : Comment se comportent ces ions au sein d'une masse gazeuse contenant une vapeur sursaturée ?

On sait que la condensation au voisinage d'une gouttelette préexistante ne tend à se produire que si le diamètre est suffisamment grand ; une goutte très fine est en équilibre avec une vapeur dont la tension actuelle est supérieure à la tension de saturation d'une quantité inversement proportionnelle au rayon de la goutte.

Au contraire, si la goutte est électrisée, la tension de vapeur à son voisinage, dans l'état d'équilibre est inférieure à la valeur normale d'une quantité inversement proportionnelle au carré du rayon ; il en résulte que les charges portées par les gouttes facilitent la condensation de la vapeur.

Les gaz dans lesquels on a mis les ions en liberté se comportent comme s'ils renfermaient des noyaux de condensation électrisés. M. Langevin le montre par plusieurs expériences : au voisinage immédiat d'un jet de vapeur presque absolument transparent, il fait d'abord jaillir une aigrette, puis il envoie des rayons X et enfin il approche une petite quantité de matière radioactive ; le jet, observé par transparence, s'obscurcit immédiatement.

On remarque, en outre, que, dans le cas de l'aigrette, le jet reprend son aspect antérieur dès que la décharge est arrêtée, tandis que l'effet des rayons X et surtout des substances radifères persiste assez longtemps après la suppression de l'action directe.

Une étude quantitative du phénomène a été faite par M. Wilson. Il a constaté d'abord que, dans un air saturé de vapeur et purgé de poussières, une détente brusque ne produit pas de condensation si le rapport des deux valeurs du volume après et avant la détente est inférieure à 1,35 ; mais si l'on vient à produire une ionisation du gaz au moyen des rayons X, des rayons de Becquerel ou de l'aigrette, une variation brusque de volume de 1,25 devient suffisante ; la condensation est donc facilitée dans une proportion sensible, toujours la même, quelle que soit l'origine des ions.

Les gouttes formées qui tombent les premières sont celles qui ont pour noyaux des ions négatifs ; le gaz reste chargé positivement. M. J.-J. Thomson voit dans ce fait l'explication de l'électricité atmosphérique ; les rayons ultra-violets du soleil ioniseraient les couches supérieures de l'atmosphère et la pluie serait chargée négativement.

M. Langevin insiste ici sur l'appui qu'apportent à l'hypothèse atomistique les expériences précédentes ; l'existence de noyaux séparés et distincts semble incompatible avec la continuité de la matière. Ces noyaux sont en nombre fini comme les gouttes auxquelles ils servent d'amorce : ce sont bien les ions mobiles dans un champ électrique, car il suffit de produire d'abord un champ de 500 volts pour que la condensation ne soit plus facilitée par l'action des rayons Rœntgen.

M. J.-J. Thomson a mesuré le nombre des gouttes formées ; il a d'abord essayé, sans succès, d'utiliser le phénomène des couronnes, produit en éclairant le nuage par un faisceau de lumière parallèle. Il a ensuite déduit séparément le poids total d'eau qui s'est formé, du rapport des volumes avant et après la diminution de pression, la température initiale étant connue, et le diamètre des gouttes de la vitesse de leur chute dans l'air, au moyen d'une formule contenant le coefficient de viscosité de l'air. Cette vitesse de chute, qui est uniforme, se détermine aisément en illuminant par un arc la surface supérieure du brouillard, laquelle descend très régulièrement en restant très sensiblement plane.

On a alors tous les éléments nécessaires pour calculer la charge d'un ion ; on trouve pour cette charge la valeur que donnerait la théorie cinétique du gaz pour celle d'un atome d'hydrogène, chargé dans l'électrolyse, conformément aux expériences de M. Townsend. D'autres recherches portant sur les ions produits par la lumière ultra-violette, pénétrant à travers une lame de

quartz et une armature de toile métallique, à l'intérieur du champ d'un condensateur, ont donné des résultats très voisins.

Si nous passons du cas des gaz à la pression ordinaire à celui des ions cathodiques qui se déplacent dans les vides extrêmes, nous retrouvons encore pour la charge d'un ion la même quantité. Cette détermination a été faite par une méthode très ingénieuse ; M. J.-J. Thomson a remarqué que, si au champ électrostatique de la décharge, on superpose un champ magnétique, les particules qui tendaient à l'éloigner normalement de la cathode subiront l'action de ce champ magnétique dans lequel le mouvement de leur charge est équivalent à un courant ; la trajectoire s'infléchit en forme de cycloïde ; c'est-à-dire que les particules ne s'éloignent d'une cathode plane que d'une quantité inférieure à une certaine limite, fonction seulement du rapport de la masse à la charge. Ce rapport est beaucoup plus petit que dans le cas des pressions moyennes ; l'ion a une masse mille fois moindre, mais sa charge reste la même.

Toutes ces belles recherches amènent à concevoir l'existence d'ions négatifs, qui seraient environ la millième partie de ce que la théorie cinétique appelle l'atome d'hydrogène ; l'insécabilité des atomes disparaît en dépit de l'étymologie. Ces ions se déplacent isolément dans les gaz raréfiés ; sous la pression atmosphérique ils condensent autour d'eux par influence, un cortège nombreux de particules non électrisées, qui augmentent la masse de l'ensemble et la portent à peu près à la valeur de celle de l'atome d'hydrogène. Pour les ions positifs, ils paraissent être beaucoup plus gros : on les a étudiés dans l'émission d'un fil de platine incandescent dans le vide, leur inertie semble comparable à celle de l'atome de H.

M. Langevin termine cette brillante conférence en montrant par une expérience la condensation sous l'influence des rayons de Becquerel dans un appareil fermé où le gaz est mis en relation brusquement avec un espace vide.

M. P. Curie expose ses plus récentes recherches sur les trois métaux radioactifs récemment découverts ; nous n'avons pas à revenir sur ces beaux travaux ; citons seulement une expérience curieuse de MM. Elster et Geitel : On fait jaillir l'étincelle d'une machine statique entre une boule et un plan de carton amené à la distance maxima ; dès qu'on approche un corps radioactif, la décharge passe à l'état d'aigrette.

M. Villard termine la soirée en exposant ses idées sur l'existence des rayons cathodiques dans l'air atmosphérique ; signalons l'expérience de l'incandescence du pôle négatif d'une bobine de Ruhmkorff, où un fil de platine est amené à la température de fusion.

A la réunion du Conseil de la Société qui a eu lieu samedi, tous les membres se sont, à juste titre, félicités du succès des séances tenues dans ces deux jours ; à celle dont nous venons de donner un rapide compte rendu, M. Guillaume a appliqué le mot de soirée mémorable, auquel souscriront tous ceux qui y ont assisté.

C. Raveau.

ACADÉMIE DES SCIENCES

Séance du 9 avril (suite).

Sur la réflexion et la réfraction des rayons cathodiques et des rayons déviables du radium, par **P. Villard**. *Comptes rendus*, t. CXXX, p. 1010-1012.

Les expériences de Hertz et celles de M. Lénard ont montré que les rayons cathodiques peuvent traverser des lames minces, métalliques ou non, cette transmission étant accompagnée d'une diffusion considérable. Le fait que la vitesse des rayons transmis est à peu près identique à celle des rayons incidents paraît difficilement conciliable avec l'hypothèse balistique, généralement admise, et l'on est conduit à admettre avec M. J.-J. Thomson qu'il s'agit en réalité d'une émission secondaire. Diverses expériences sur la pseudo-réfraction uniradiale des rayons cathodiques ainsi que sur la pseudo-réfraction des rayons du radium [1], amènent M. Villard à la même conclusion.

---

[1] « *Pseudo-réflexion uniradiale.* — Quand un faisceau cathodique rencontre une lame métallique isolée, non seulement il y a diffusion des rayons en tous sens, mais, en même temps, la région frappée par les rayons incidents émet un faisceau assez bien défini dont la direction est normale à la lame. L'expérience est très nette en recevant sur une lame à 45°, un faisceau primaire cylindrique très étroit produit par une cathode concave. On rend visible le faisceau secondaire en faisant le vide sur l'oxygène dans un tube en verre peu fluorescent.

Ces nouveaux rayons sont déviables par un champ

En répétant l'expérience relative à la réfraction des rayons du radium dans des conditions diverses, M. Villard a presque toujours observé qu'au faisceau réfracté se superpose un faisceau à propagation rectiligne, ce qui rendait parfois difficile l'interprétation des clichés. Il a pensé que cet effet était dû à la présence de rayons non déviables moins absorbables que ceux qui ont été décrits par M. Curie [1]. L'analyse magnétique du rayonnement étudié a montré que cette supposition est fondée [2].

Les résultats complexes observés par l'auteur s'expliquent sans difficulté : le faisceau qui, dans ses expériences, traversait sans se réfracter la lame d'aluminium inclinée, correspond aux rayons non déviables : l'expérience a en effet montré qu'il est insensible au champ magnétique. Les rayons déviables, au contraire, se comportent comme les rayons cathodiques et émergent normalement à la lame traversée [1].

M. Villard propose de reprendre ces expériences avec des rayons déviables purs.

Les faits précédents conduisent à admettre que la partie non déviable de l'émission du radium contient des radiations très pénétrantes, capables de traverser des lames métalliques, radiations que la méthode photographique permet de déceler.

Electrisation négative des rayons secondaires produits au moyen des rayons Rœntgen, par **P. Curie** et **G. Sagnac**. *Comptes rendus*, t. CXXX, p. 1013-1016.

Les auteurs ont recherché si les rayons Rœntgen et si les rayons secondaires moins pénétrants qu'ils excitent en frappant les divers corps transportent avec eux des charges électriques. Ils ont trouvé ces charges inappréciables dans le cas des rayons Rœntgen [2]. Au contraire

---

électrique ou magnétique comme les rayons ordinaires, échauffent les obstacles qu'ils rencontrent, excitent la fluorescence du verre et rendent luminescent le gaz traversé.

» Il est naturel d'admettre que la région anticathodique frappée par le faisceau incident, recevant à la fois la matière cathodique et des charges négatives instantanées, devient le siège d'une émission secondaire nécessairement normale à la surface d'émission.

» *Réfraction.* — Si la lame anticathodique est très mince (lame de magnésium ou d'aluminium de 0,02 mm d'épaisseur), il y a un faisceau transmis : celui-ci est diffus, mais, avec des rayons incidents concentrés et aussi intenses que le permet la fragilité de la lame, on obtient un faisceau transmis assez défini pour pouvoir reconnaître que la direction de son axe est toujours normale à la lame mince. Il y a donc réfraction apparente (dans le sens étymologique du mot *réfraction*) et, de même que précédemment, le phénomène doit être considéré comme une émission nouvelle, donnant naissance à des rayons semblables aux rayons directs.

» *Réfraction des rayons du radium.* — Les rayons déviables du radium se comportent comme les rayons cathodiques des tubes de Crookes ; l'expérience a été faite de la manière suivante :

» Une petite quantité de chlorure de baryum radifère, enfermée dans une ampoule en verre mince, a été placée dans un tube de plomb dont l'une des extrémités, librement ouverte, laissait sortir un cône de rayons de 20° environ. A 2 mm ou 3 mm en avant de cette ouverture était fixée une petite lame d'aluminium de 0,3 mm d'épaisseur inclinée à 45° sur l'axe du tube, et disposée de manière à intercepter la moitié du faisceau. Le tout était posé sur une plaque photographique enveloppée d'une double feuille de papier noir, qui recevait ainsi sous une incidence presque rasante le faisceau émergent. L'impression produite sur la plaque a montré que le demi-faisceau qui avait rencontré l'aluminium, au lieu de continuer sa route en ligne droite et de rester symétrique du demi-faisceau non intercepté, suivait une direction franchement normale à la lame. Cette réfraction était accompagnée d'une forte diffusion.

» A part l'épaisseur plus grande du métal traversé, le phénomène est le même que dans les tubes de Crookes. »

(1) *Écl. Élect.*, t. XXII, p. 113, 20 janv. 1900.

(2) « Les rayons émis par un petit tube de verre rempli de matière active passaient par une ouverture rectangulaire de 6 mm de largeur, pratiquée dans une barre de plomb et traversaient un champ magnétique. Une plaque photographique 13 × 18, disposée sous une incidence presque rasante, enregistrait les trajectoires : dans ces conditions, on observe que les rayons admis dans le champ se divisent en deux groupes distincts, entièrement séparés après un trajet de quelques centimètres.

» L'un de ces groupes est dévié dans le sens prévu : l'autre, formé par les rayons non déviables, se propage rectilignement dans toute la longueur de la plaque. Ce faisceau non dévié est assez pénétrant pour impressionner, à 25 cm de distance, une plaque sensible protégée par plusieurs feuilles de papier noir et une lame d'aluminium ; on peut même lui faire traverser une lame de plomb de 0,2 m d'épaisseur. »

(1) Le fait suivant montre combien grande est la différence entre les modes de propagation des deux rayonnements au travers des solides : dans l'expérience décrite plus haut, la trajectoire du faisceau dévié sur la plaque photographique présente des marbrures et des discontinuités qui correspondent aux ondulations du papier noir qui enveloppe la plaque ; la trajectoire du faisceau non dévié est au contraire d'une parfaite régularité.

(2) Pour étudier les rayons Rœntgen, les auteurs em-

les rayons secondaires issus de la transformation des rayons Rœntgen [1] *transportent avec eux des charges électriques négatives* à la manière des rayons cathodiques, comme le font les rayons du radium [2].

Pour étudier les rayons secondaires des métaux, il fallait éviter que ces rayons, souvent très peu pénétrants, ne fussent observés au voisinage immédiat du métal qui les émet. Les auteurs ont été amenés à placer les métaux dans l'air raréfié et à opérer à des pressions de plus en plus faibles, jusqu'au vide de Crookes (0,001 mm de mercure), afin de rendre à l'air ses propriétés isolantes, malgré l'action des rayons Rœntgen et des rayons secondaires qui le traversent.

En faisant varier la nature des métaux ils ont constaté en particulier que le plomb et le platine sont parmi les métaux qui émettent le plus de charges négatives sous l'action des rayons X. Viennent ensuite l'étain et le zinc. Quant à l'aluminium, l'expérience déjà faite avec l'enceinte de Faraday, tapissée extérieurement d'aluminium semble montrer que les rayons secondaires assez pénétrants de ce corps sont, comme les rayons Rœntgen générateurs, dont ils diffèrent peu, sensiblement dépourvus de charge électrique. Ces résultats concordent ainsi avec ce que l'on sait sur la transformation des rayons Rœntgen par les différents corps [1].

ploient une enceinte de Faraday en plomb *épais* de forme cubique ayant 23 cm de côté, reliée à un électromètre à quadrants. Un large faisceau de rayon X y pénètre par une ouverture circulaire de 10 cm de diamètre, placée à 7 cm seulement de la lame focus du tube à rayons Rœntgen. L'enceinte de plomb, y compris son ouverture, était complètement enveloppée par une couche continue d'un *diélectrique solide* (paraffine ou ébonite) recouverte elle-même d'aluminium mince en communication électrique avec la terre. *L'enveloppe continue de diélectrique solide est nécessaire pour maintenir l'isolement parfait du cylindre*, qui, sans cette précaution, ne demeurerait pas isolé dans l'air ambiant rendu conducteur de l'électricité par l'action des rayons Rœntgen.

Les résultats ont été négatifs. On peut seulement conclure que, si les rayons Rœntgen transportent de l'électricité, les courants qu'ils pouvaient produire dans nos expériences étaient inférieurs à 10^{-12} ampère.

(1) G. Sagnac, Transformation des rayons X par les métaux. *Comptes rendus* du 26 juillet et du 6 décembre 1897 ; *loc. cit.*, 1898, 1899 et 1900. *Écl. Élect.*, t. XII p. 316 ; t. XIV, p. 466, 509 et 547 ; t. XVIII, p. 41 et 64 ; t. XIX, p. 201 ; t. XXI, p. 109 ; t. XXII, p. 270.

(2) P. Curie et Mme P. Curie, Sur la charge électrique des rayons déviables du radium. (*Écl. Élec*, t. XXII, p. 400, 10 mars 1900).

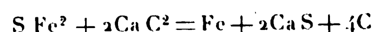
Sur l'action réductrice du carbure de calcium, par Geelmuyden. *Comptes rendus*, t. CXXX, p. 1 026-1 030.

Dans ses premières recherches sur le carbure de calcium M. Moissan a appelé l'attention sur les propriétés réductrices de ce composé et sur les réactions qu'il fournit en présence des oxydes. M. Geelmuyden a étudié son action, à la température du four électrique, sur quelques autres composés, l'anhydride borique et quelques sulfures naturels et artificiels.

Le carbure employé était du carbure industriel qui à l'analyse a donné : 55,83 Ca, — 0,85 Al, — 0,59 Fe, — 0,21 Si, — 34,42 C (calculé) — 6,99 matière insoluble dans HCl.

En opérant sur un mélange de 52 gr d'un hydride borique et 100 gr de carbure, l'auteur a obtenu du carbure de bore B^6Ca.

L'analyse des produits de la réaction du carbure sur de la pyrite a montré que cette réaction peut être formulée



$$S\,Fe^2 + 2Ca\,C^2 = Fe + 2Ca\,S + 4C$$

Avec la panabase (sulfure d'antimoine), on a encore du sulfure de calcium, mais l'antimoine disparaît par volatilisation. Il en est de même avec le sulfure de magnésium.

Le sulfure d'aluminium ne réagit pas sur le carbure de calcium ; il se retrouve inaltéré sous forme de globules.

(1) C. Sagnac, Sur la transformation des rayons X par les différents corps. *Comptes rendus, loc. cit.*, 1897, 1898, 1899 et *Éclairage électrique*, t. XIX, p. 201-208, 13 mai 1899.

M. E. Dorn a annoncé que les rayons secondaires des métaux lourds sont déviés par le champ magnétique, et dans le même sens que les rayons cathodiques (*Abhand. d. Naturf. Gesell. zu Halle*. Bd. XXII, p. 40-42, 1900).

M. Sagnac avait antérieurement émis l'opinion *que les rayons secondaires très absorbables des métaux lourds peuvent renfermer des rayons analogues à ceux de Lenard et déviables comme eux par l'aimant.* (G. Sagnac. Recherches sur les transformations des rayons Rœntgen ch. I, 3e paragraphe : Rayons secondaires, rayons X et rayons Lenard, *L'Éclairage Électrique* du 12 mars 1898).

Le Gérant : C. NAUD.

Tome XXIII. Samedi 5 Mai 1900. 7e Année. — N° 18

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

LES LAMPES A ARC

La lampe de M. Wood, adoptée par la General Electric C°, est (fig. 1) disposée pour courants alternatifs; son électro-aimant M attaque, par son armature *m*, un levier F commandant, par *b*, le levier à machoires C et H, qui lorsque *m* est attiré, saisissent et soulèvent le porte-charbon supérieur D. La principale particularité du système est que l'armature *m* attaque son levier F non pas directement, mais par l'intermédiaire des ressorts *s*, *s*, qui, oscillant comme en *x x* (fig. 10), absorbent les petites vibrations de *m* dues à l'alternance du courant, de sorte que ces vibrations ne peuvent plus dès lors affecter le jeu des mâchoires C, H, ni faire trembler D. L'action amortissante des ressorts *s* n'a d'autre part aucun effet sur la sensibilité avec laquelle D obéit aux mouvements non vibratoires de *m*, de sorte que le réglage s'opère, comme l'a démontré l'expérience, avec presque autant de stabilité que pour des courants continus, et ce par un mécanisme très simple, souvent essayé sans succès faute d'un amortisseur convenable des vibrations. Quant aux grands mouvements de *m*, ils sont, comme d'habitude, atténués par un dash-pot I dont le piston 2 (fig. 2) porte un clapet de cuir *r'*, chargé de petites masses *t*, qui laissent l'air passer librement par *t'* pendant la descente de *r*.

Les bobines de l'électro M ont leur âme non pas en métal mais en un isolant *k* (fig. 4) fixé à sa partie supérieure par un écrou en métal *l* et au bas par une pièce J (fig. 15) à retour *n* et griffes n_2 (fig. 16), obtenues par emboutissage et fixée par *n* au châssis *p* (fig. 1) de la lampe.

Le coupe-circuit est constitué par un bras 12 (fig. 8 et 10) à manchon 19 en métal avec

(1) *L'Éclairage Électrique*, 7 octobre 1899, p. 16.

tige 18 (fig. 13), isolée par du mica 20, serrée par l'écrasement de 19 sur ses encoches 21, et terminée par la pince 13 du fil *w*. Cette pince ferme le circuit par son contact avec la face 26 de l'osselet 22, à ressort de rappel 23-24, qui l'appuie sur 25, et sa course est limitée par le taquet 10; ce coupe-circuit est commandé par la manette 17 et son axe 10.

La lampe de M. Prentiss est (fig. 17 à 20) pourvue d'un enregistreur indiquant le nombre d'heures 16 et les jours 11 de son fonctionnement. A cet effet, dès que la lampe s'arrête, le lèvier 6 arrête par un frein 7-8 le mécanisme de ce compteur, et, pendant la marche de la

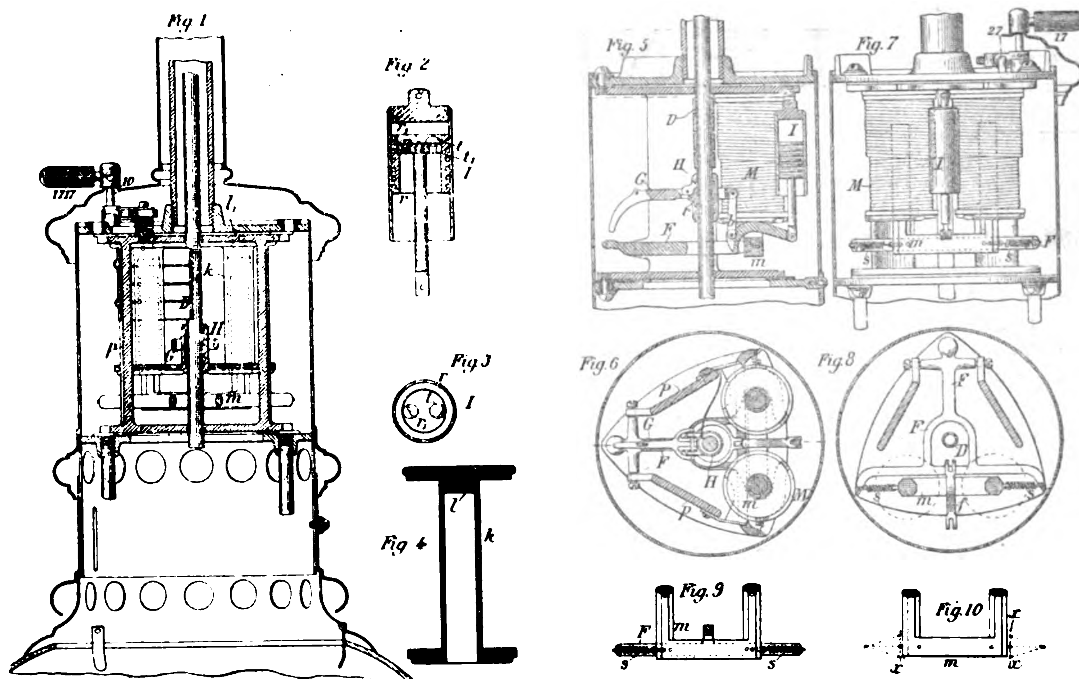


Fig. 1 à 10. — Lampe Wood (1900).

lampe, la bielle 7 remonte perpétuellement le barillet du compteur par le cliquet 9, à chaque levée du porte-charbon 1. En outre, au bout d'un certain nombre d'heures déterminé par la fixation du disque 14 sur l'arbre de l'aiguille 10, l'encoche 15_a (fig. 20) de ce disque coupe par 19, le circuit de la lampe.

La lampe de M. P. Warner est (fig. 21 à 27) destinée à être montée en quantité sur un circuit alternatif à potentiel constant d'environ 110 volts ; elle est pourvue d'un enroulement d'impédance *c* sectionné (fig. 21) de manière à pouvoir en faire varier la longueur en raison inverse de la fréquence du courant, et son électro-aimant *f* agit par répulsion le long des âmes lamellaires sur une armature d'aluminium *h*, qui actionne directement par *l* le frein *ik* (fig. 25).

Quand on ferme, par *e*, le circuit amené (fig. 27) par *q* au charbon *g*, cette répulsion écarte immédiatement les charbons de 40 mm environ, amorçant l'arc avec une tension de 70 volts environ, puis le réglage de l'arc se continue comme à l'ordinaire par le jeu du frein, les mouvements de *b* étant atténués par le dash-pot *tm*, à contrepoids *s*, équilibrant *h*. Le globe a sa face facile à roder *a'* appuyée sur sa plaque par un ressort *b'* (fig. 22).

Les charbons R et S de la lampe différentielle de M. Chagnaud sont (fig. 30 et 31) suspendus à une corde continue *gLh*, qui passe sur les poulies P,K et P'. La première de ces

Fig. 11 à 16. — Lampe Wood, détail du coupe-circuit.

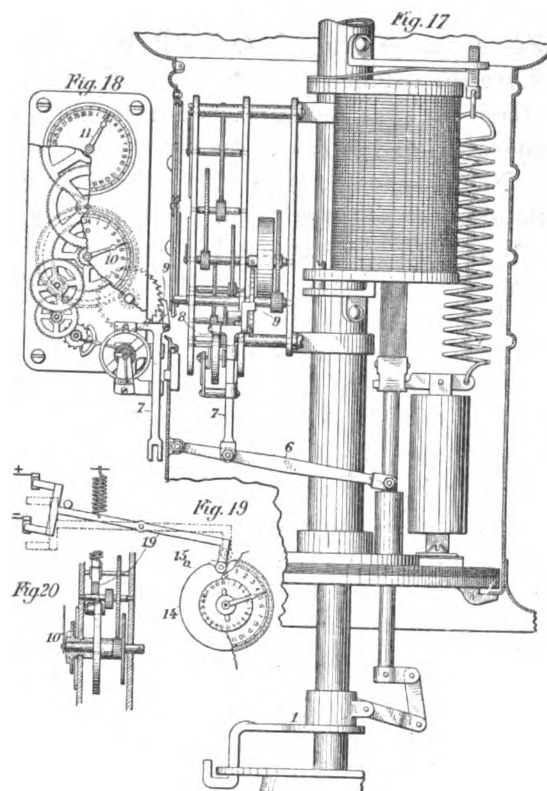


Fig. 17 à 20. — Lampe Prentis (1900).

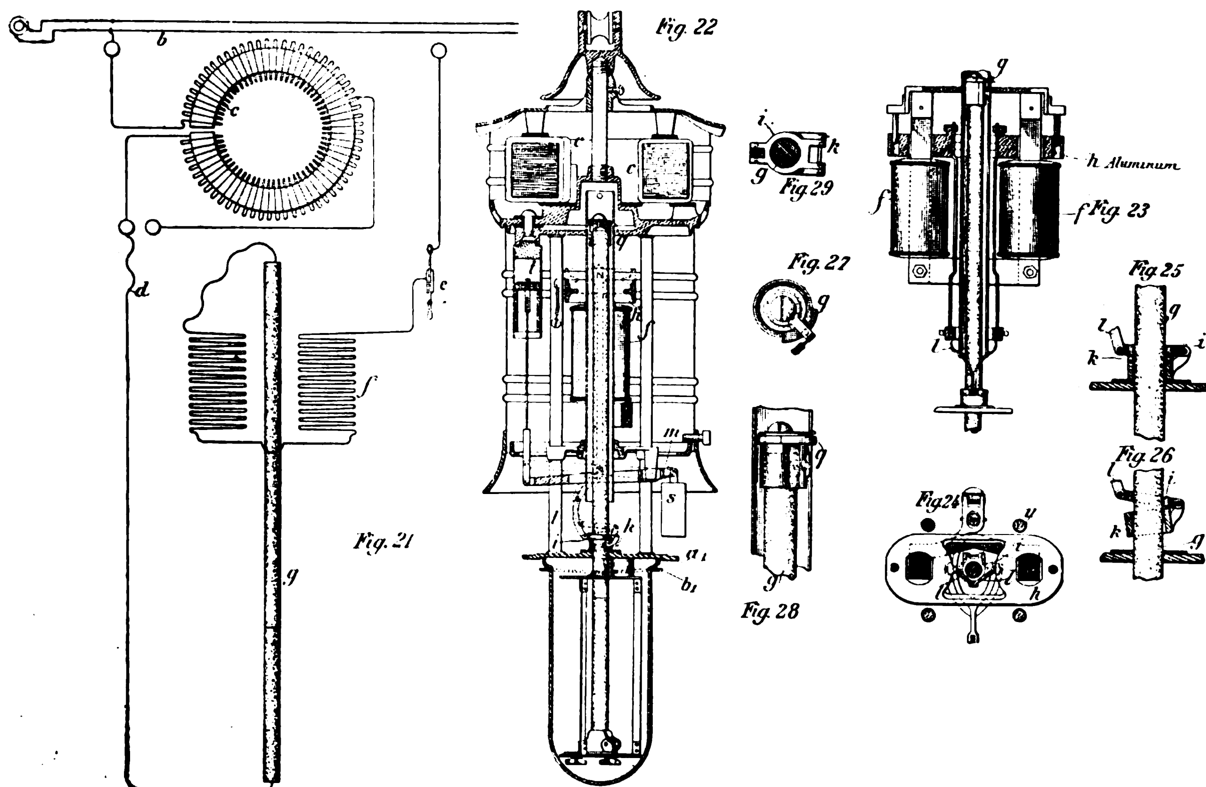


Fig. 21. — Lampe Warner (1900) schéma des circuits.

Fig. 22 à 29. — Lampe Warner.

poulies est montée sur le levier JOM, pivoté en O, avec frein E, pivoté en *u*; la poulie K est solidaire du volant D, et la poulie P′ est montée sur un levier IO′J pivoté en O′. Au repos, les charbons sont amenés au contact par le poids plus élevé du charbon R, qui, abaissant P, repousse par M le bras N du levier NOP′ et son axe J, de K, de manière à écarter D du frein E, ainsi desserré. Quand on ferme le circuit, le courant passe d'abord dans le gros fil en série A de l'électro différentiel AB, qui en remonte l'armature biconique CF, ce qui a pour effet, par le renvoi G*ca* H, d'abaisser P′ et d'amener D au contact du frein E, qui immobilise D, puis de soutenir P autour de O de manière à séparer R de S par l'abaissement de P′ et

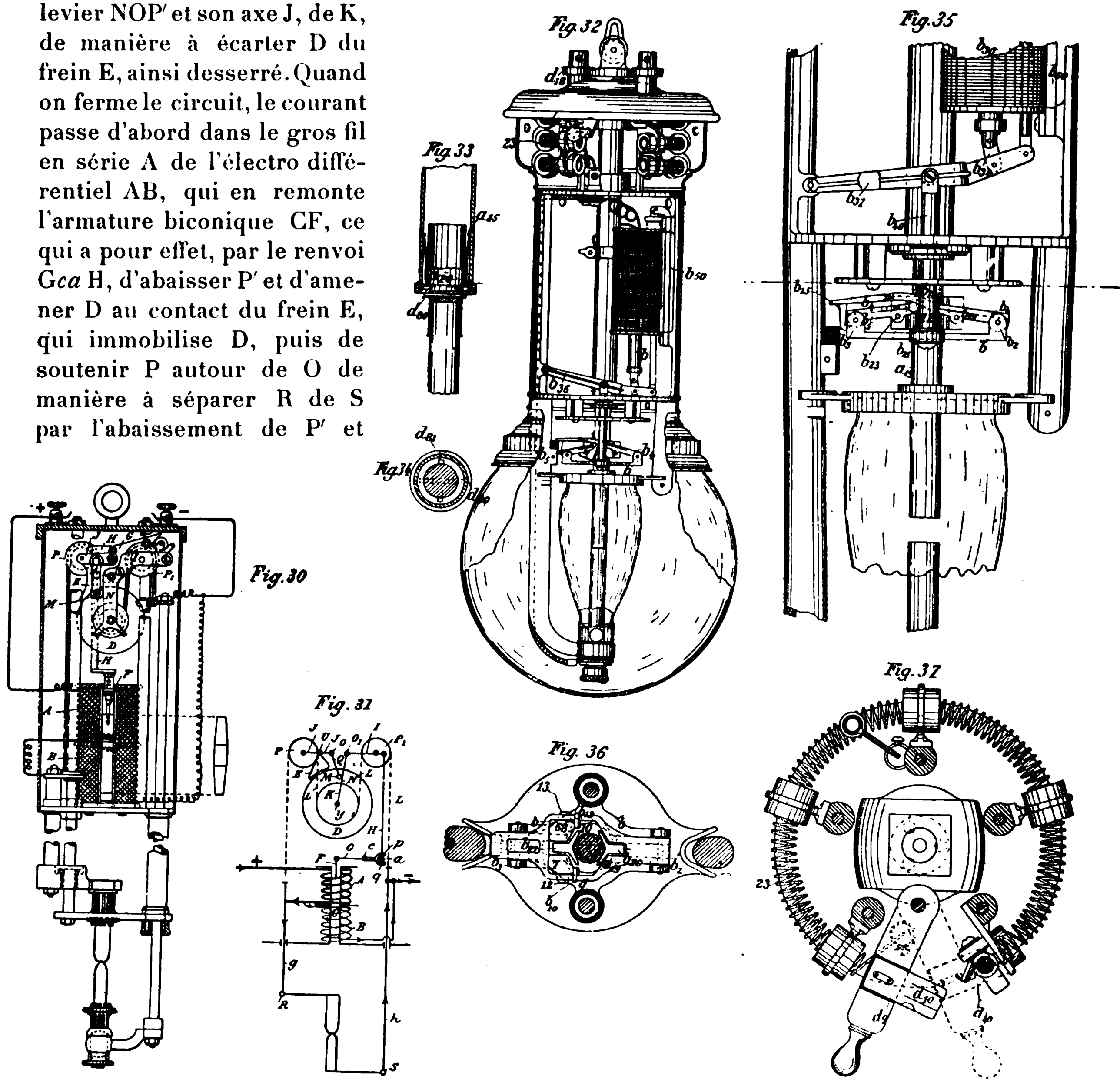


Fig. 30 et 31. — Lampe Chagnaud (1899). Fig. 32 à 37. — Lampe Woltmann (1900).

l'élévation de P. L'arc une fois ainsi amorcé s'allonge et le courant croissant dans le circuit en dérivation, B abaisse F et rapproche les charbons jusqu'à ce que le galet M vienne, en repoussant N, redesserrer le frein et permettre aux charbons de se rapprocher de nouveau jusqu'à l'écartement normal, point ou B l'arrête en resserrant le frein E. La disposi-

tion des mécanismes en exécution (fig. 30) diffère un peu de celle du schéma (fig. 31) mais leur fonctionnement est absolument le même.

Le frein de la lampe en série Woltmann représenté par les figures 32 à 37 est constitué (fig. 35) par deux leviers b_4 et b_5. Le premier de ces leviers b_4 est percé d'une ouverture b_6 et le second, b_6, a ses bras recourbés 7 et 8 passés dans l'ouverture b_2 et enclenchés, par leurs taquets b_{10} et b_{12}, 12 et 13, avec le haut et le bas des bras 9 et 10 de b_4; en outre, le levier b_4 porte à gauche un crochet b_{15}, enclenchant l'arrière de b_4. Il en résulte que la levée de la plaque b, sur laquelle les leviers b_4 et b_5 sont articulés

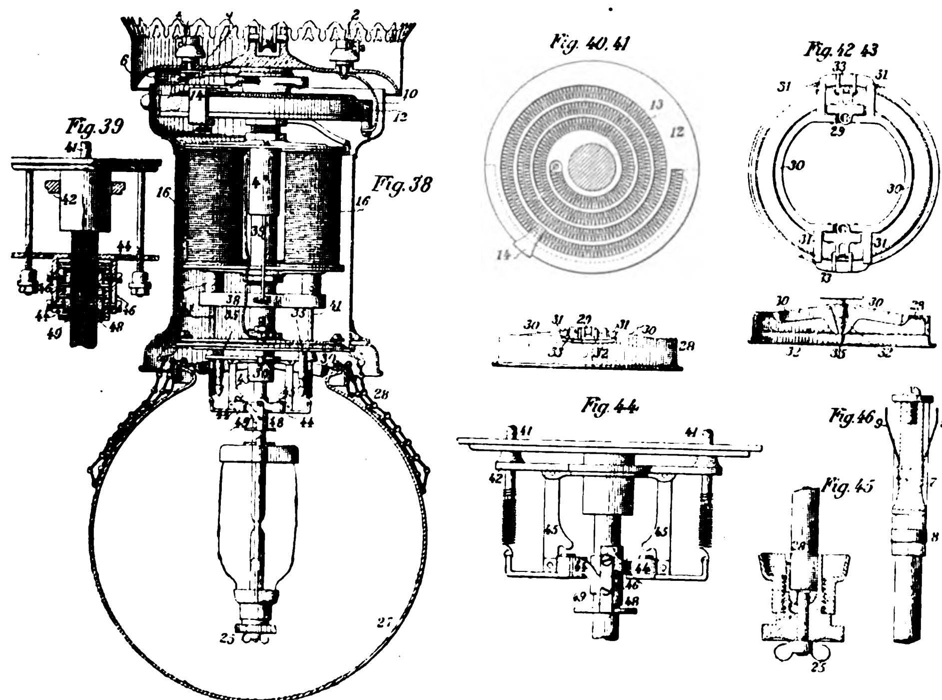


Fig. 38 à 46. — Lampe Moyer (1900).

en b_2 et b_3, a pour effet de ramener ces leviers à leur position horizontale et de serrer le porte-charbon a_{19} par leurs mâchoires b_{20} b_{21}, pivotées en b_{22} b_{23}. Le solénoïde b_{30} commande la plaque b par b_{34} b_{36} b_{40}, à dash-pot 50. Le courant traverse, avant d'arriver en b_{30}, des résistances 23 (fig. 37) avec coupe-circuit d_{13} d_9 d_{10}, et il est amené au porte-charbon a_{19} par des ressorts d_{13} (fig. 33). Pour enlever le porte-charbon supérieur, il suffit de le tourner de manière à amener ses taquets d_{80} (fig. 34) au droit des ouvertures d_{81} de l'écrou a_{20}. Le crochet b_{15} a pour objet de limiter la levée de la partie b_{10} du levier b_5 et, par conséquent, l'écartement des mâchoires.

La lampe de Moyer représentée par les figures 38-46 est aussi à globe fermé. Le courant arrive au charbon supérieur par 1, le coupe-circuit 5-6, les ressorts 9 (fig. 46) et le joint à bayonnette 8; il sort de la lampe par le charbon inférieur, l'électro-aimant 16, le contact variable 14 (fig. 40) du rhéostat 13, logé dans la porcelaine 12, 10 et la borne 2. Le charbon inférieur est (fig. 45) pincé par un palet 28, que l'on fait basculer comme sur la figure en serrant l'écrou 25 de la tige à laquelle il est articulé. Le gros globe 27 est suspendu à un cercle 28 (fig. 42) avec deux œillets 29, 29. Quand on soulève ce globe les cliquets de 32 32 des leviers 30, 31, 32, pivotés en 29, viennent s'accrocher aux supports 35, et, pour les en déta-

cher, il suffit de saisir les poignées à charnières 33, 33 de 28 qui, par 31, 31 écartent 32 de 35.

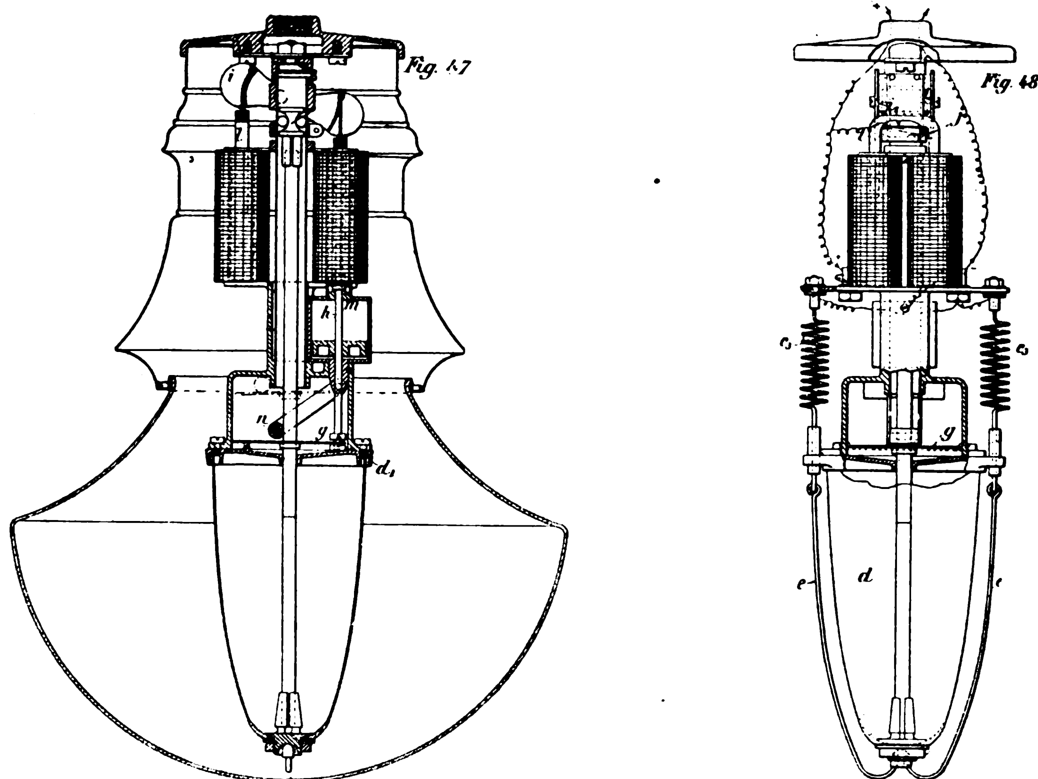


Fig. 47 et 48. — Lampe Davy (1899).

Les électros 16 attaquent (fig. 38) la barre 38, reliée par 39 au dash-pot 40, et par 41, 41 à la plaque 42 (fig. 39) qui commande par les menottes 45, 45 (fig. 44) les mâchoires du frein 44, 44 à sabots 48 et 49, pivotés sur 46.

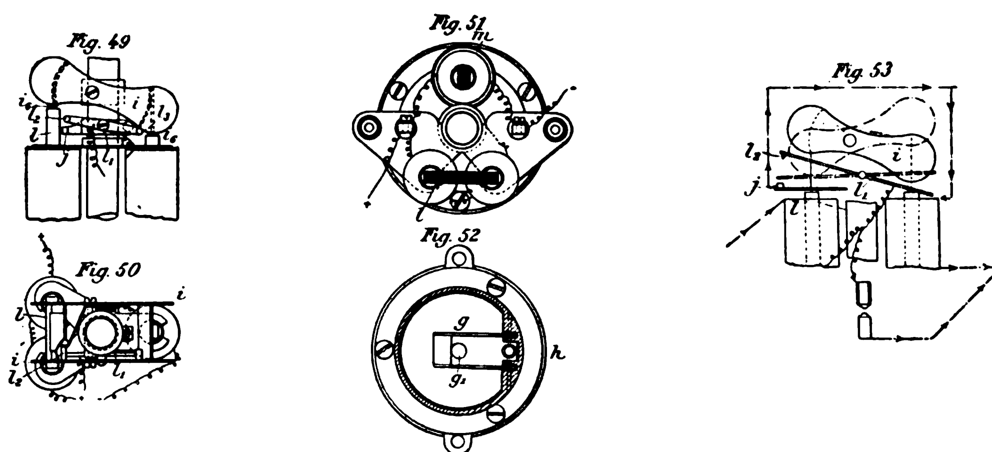


Fig. 49 à 53. — Lampe Davy.

Dans la lampe ingénieuse et simple de Davy représentée par les figures 47 à 53, le

réglage s'opère par deux électros, l'un en série, l'autre en dérivation, agissant sur un balancier i, par l'intermédiaire de ressorts i^e (fig. 49) amortissant les vibrations des courants alternatifs. La tige h (fig. 47), reliée à ce balancier, commande un frein très simple, constitué par un disque g, traversé en g_1 par le porte-charbon supérieur, et pivoté librement sur n_3. Quand h monte, le disque enlève le charbon supérieur, guidé par le galet n ; quand il descend, et retouche a_2, il lâche ce charbon. Les mouvements de h sont atténués par un dash-pot m et, quand les charbons arrivent au contact, ce qui correspond à la position figure 47 du balancier i, ce balancier fait basculer le levier l_1 qui coupe en jl_2 le circuit

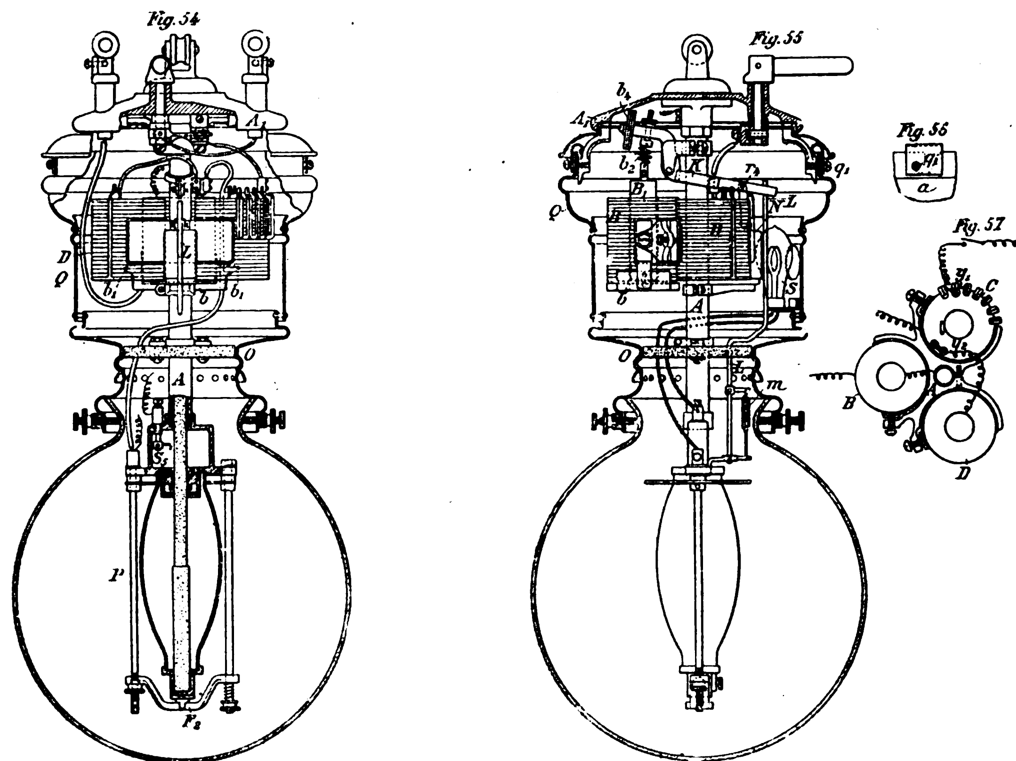


Fig. 54 à 57. — Lampe Upton (1900).

dérivé. L'électro en série, attirant alors vivement l, rétablit l'arc et, repoussant le levier l_1, referme la dérivation. Le globe intérieur d est appuyé sur sa garniture d_1 par l'étrier élastique e e (fig. 48), que tirent les ressorts $c_2 c_2$, et qu'il suffit de rabattre pour relever le globe.

La lampe de M. R. Upton représentée par les figures 58-66, se distingue par quelques détails de construction ingénieuse. Le courant passe, du solénoïde en série B, aux charbons, puis à l'impédance sectionnée C, avec ou sans le solénoïde auxiliaire réacteur D (fig. 57). En amenant le fil y_1 en d_1, on coupe C du circuit, et l'on y introduit C et D en reliant y_1 à d_1 et y_2 à C, ce qui permet de faire varier considérablement l'impédance suivant la fréquence du courant. Les spires des solénoïdes sont séparées les unes des autres par des fiches v (fig. 66) ou par des calorifuges v_1 (fig. 65) qui en préviennent l'échauffement, et supportées en w w_1 (fig. 62) de façon à être parfaitement ventilés.

L'armature de B'bB à ressorts amortisseurs b_1 b_1 (fig. 54) attaque le charbon supérieur par une tige L (fig. 55) reliée au frein M (fig. 60) par un ressort amortisseur m, très effectif pour atténuer les vibrations et les chocs, et actionnée par le levier K, équilibrée en b_4,

***

avec ressort d'attaque b_2 et dash-pot en $r_4 n_4$ (fig. 55) constitué (fig. 61) par une capsule n_3, qui glisse entre le cylindre extérieur n_2 et le piston fixe cannelé n.

Le courant passe (fig. 58) du tube A au charbon supérieur par les ressorts r_3 appuyés sur A par l'écrou réglable r_2 ou (fig. 59) par des fils élastiques r_4.

Un disque d'amiante O (fig. 55) empêche la chaleur de passer du globe dans l'enve-

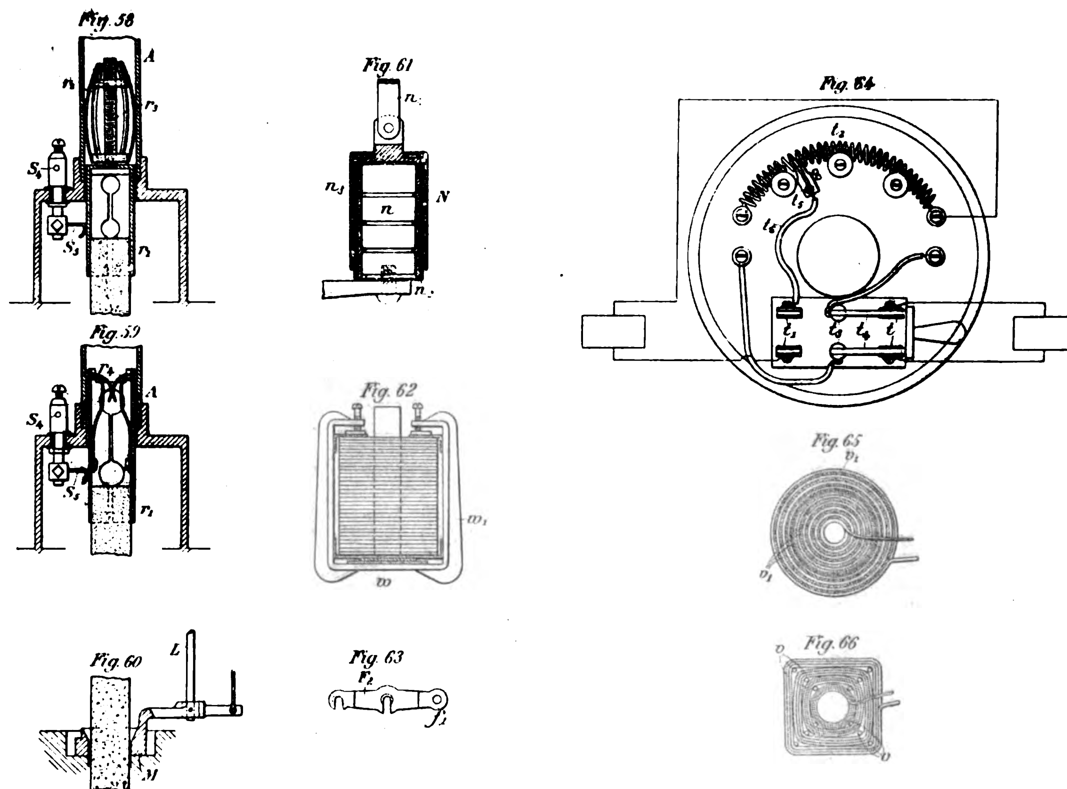


Fig. 58 à 66. — Lampe Upton.

loppe Q, laquelle est suspendue au couvercle A par un joint à baïonnette, avec crochet q_1 (fig. 56) obligeant à soulever Q pour le décrocher.

Quand, à la fin des charbons, la gaine r_1 d'attache du charbon vient (fig. 58) au contact du ressort s_3, elle dérive, par s_4, s_3, une partie du courant dans la lampe à incandescence avertisseuse s (fig. 55).

Pour permettre de faire fonctionner la lampe à volonté par courants alternatifs ou continus, on emploie un coupe-circuit double (fig. 64) à bornes reliées : $t\,t$ au circuit alternatif, $t_1 t_1$ au continu, avec rhéostat t_2, réglable par $t_5 t_6$: les fils de la lampe aboutissent aux bornes t_3, sur lesquelles sont pivotés les connecteurs t_4 du coupe-circuit.

Pour enlever le globe intérieur P, il suffit d'en faire pivoter sur f_1 (fig. 63) l'étrier F_2.

(*A suivre.*)

G. RICHARD

FOUR ÉLECTRIQUE PRADON SANS INDUCTION

Une des plus grandes difficultés à vaincre dans l'emploi des fours électriques alimentés par des courants alternatifs consiste dans la diminution de la résistance apparente du circuit électrique. En ce qui concerne la canalisation proprement dite de l'alternateur au four, la résistance inductive peut être facilement diminuée en rapprochant suffisamment les conducteurs d'aller et de retour et en leur donnant une section rectangulaire très allongée.

Si, comme c'est généralement le cas, les prises de courants du four sont situées l'une à la sole et l'autre à l'électrode supérieure, les conducteurs maintenus parallèles doivent être séparés dans le voisinage du four pour prendre des directions opposées. Ces conducteurs constituent avec le four lui-même un circuit, une boucle, d'une certaine surface, qui a par suite un coefficient de self-induction assez grand par rapport à celui de la partie du circuit formé de conducteurs parallèles.

La valeur absolue du coefficient d'induction de ce circuit est évidemment très petite, mais étant donnée l'énorme intensité des courants employés pour l'alimentation des fours électriques, la force électromotrice de self-induction à laquelle il donne lieu prend des valeurs assez sérieuses et devient une portion d'autant plus grande de la tension aux bornes que celle-ci est plus petite.

Il n'est pas rare de voir, surtout dans les installations de fours électriques marchant à faible tension, de 40 à 45 volts par exemple aux bornes de l'alternateur, la tension aux bornes de l'arc ou plus exactement entre la sole et l'électrode mobile descendre aux environs de 25 volts, alors que si l'on avait employé un courant continu de même intensité, la chute de voltage n'aurait été que de trois ou quatre volts. Cette énorme perte de tension nécessite l'emploi d'alternateurs beaucoup plus puissants qu'il ne serait nécessaire si le facteur de puissance du four était voisin de l'unité.

De ce côté, l'effet de la chute de tension est beaucoup plus sérieux qu'on ne le pense au premier abord.

Les alternateurs modernes pour transport de force motrice ont, même pour des charges très inductives, des chutes de tension relativement faibles et par suite leur puissance apparente, produit des volts par les ampères qu'ils peuvent débiter, décroît peu (15 à 20 p. 100) lorsque le facteur de puissance diminue. Malheureusement au point de vue des applications de l'électrochimie, ces alternateurs sont, en court-circuit pour l'excitation normale, traversés par des courants plusieurs fois égaux aux courants normaux et par suite dangereux pour les circuits induits de la machine autant que pour la canalisation et les fours.

On a par suite été conduit à employer des alternateurs spéciaux à grande résistance apparente intérieure dont le courant de court-circuit atteint toujours moins du double du courant normal.

Ces alternateurs à grande chute de tension sont beaucoup plus influencés que les précédents par le décalage du courant ; aussi leur puissance apparente pour l'excitation normale décroît-elle très vite lorsque le facteur de puissance diminue et tel alternateur qui sur résistance sans induction peut fournir une puissance apparente d'un certain nombre de kilovolts-ampères, éprouve, lorsque le $\cos \varphi$ du circuit d'alimentation est faible, une diminution de sa puissance apparente d'environ 30 à 50 p. 100 suivant les cas.

Ces considérations montrent toute l'importance qu'il y a dans l'emploi des fours à courant alternatif à diminuer la self-induction des circuits et plus particulièrement celle des fours eux-mêmes.

M. J. Pradon qui depuis plusieurs années s'est consacré à l'étude des fours électriques et qui a monté et dirigé plusieurs usines importantes de carbures de calcium, a étudié différents dispositifs pour diminuer la résistance apparente des fours et s'est finalement arrêté à un modèle de four qui paraît résoudre complètement le problème.

L'idée première du dispositif, au point de vue électrique, consiste à constituer le four comme un véritable câble concentrique c'est-à-dire à entourer complètement le charbon et la sole par le conducteur d'amenée ou de retour du courant. On utilise à cet effet comme conducteur du courant l'enveloppe qui sert de cuve pour contenir les matières à traiter ainsi que la hotte de protection qui la surmonte.

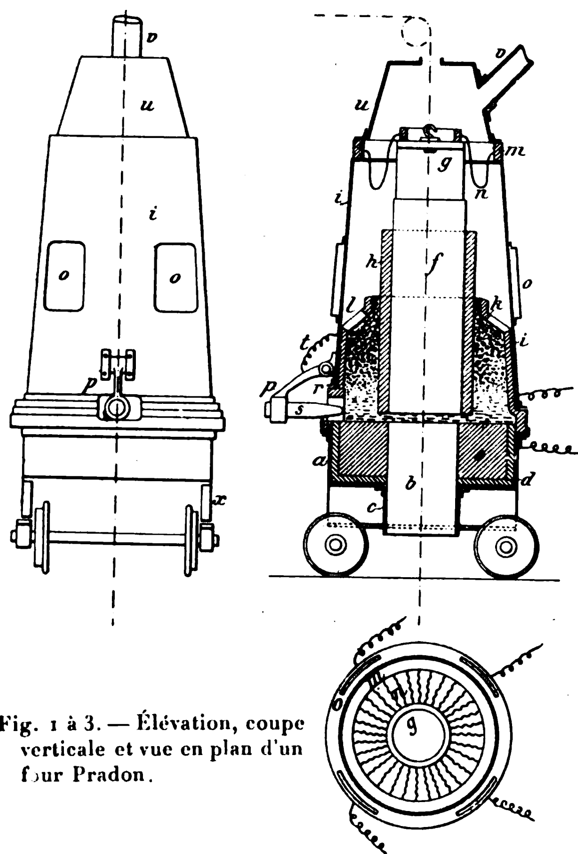


Fig. 1 à 3. — Élévation, coupe verticale et vue en plan d'un four Pradon.

Nous avons sur les figures 1, 2 et 3 représenté une des dispositions préférées par l'inventeur et dont nous verrons plus loin les avantages principaux.

La sole du four sur laquelle s'opère la réaction est constituée par une cuve *a* en métal non magnétique et qui peut être soit pleine, soit simplement formée de barreaux réunis par deux anneaux comme les inducteurs à cages d'écureuil des moteurs à champ tournant.

Cette cuve *a* qui communique au moyen d'une bague de prise de courant *c* d'un dispositif étudié spécialement pour assurer un contact parfait avec le charbon central *b*, est isolée de ce dernier par une enveloppe réfractaire *d*. L'espace laissé entre le charbon et l'enveloppe *d* est comblé par un aggloméré quelconque de charbon *e* provenant des déchets d'électrodes.

Les bornes de prises de courant sur la cuve *a* sont généralement au nombre de quatre de façon à obtenir une répartition plus symétrique du courant.

L'électrode supérieure *f* est soutenue par une pince en bronze *g* d'un type également spécial qui assure un contact parfait entre le charbon et la pince et évite ainsi les énormes pertes d'énergie qui se produisent dans les contacts défectueux qu'on obtient généralement dans les pinces à charbon ordinaires et plus particulièrement dans celles constituées à l'aide de plaques d'acier ou de fer doux. Cet électrode est isolée de la matière à traiter au moyen d'une épaisse couche de matière réfractaire non conductrice *h*, telle que la chaux, qui a également pour effet de protéger le charbon contre l'action des flammes résultant de la combustion de l'oxyde de carbone et de l'emploi d'une tension un peu élevée.

La matière à traiter est isolée de la cuve *i* qui la contient par un revêtement réfractaire *k* qui forme à sa partie supérieure une voûte percée d'un trou central pour le passage de l'électrode *f* ainsi que de plusieurs ouvertures *l* pour le chargement du four.

La cuve *i* de même constitution que la cuve *a*, c'est-à-dire formée d'un cylindre plein en métal conducteur non magnétique ou d'une cage d'écureuil, est fixée sur une couronne

circulaire conductrice *m* reliée à la pince *g* au moyen de câbles conducteurs souples *n*.

Comme pour la prise de courant inférieure, le courant est amené à la cuve *i* par quatre conducteurs répartis sur sa circonférence.

Dans l'enveloppe *i* sont ménagées les ouvertures *o* placées en regard des trous *l* pour le chargement.

La cuve *i* est surmontée d'une hotte *u* avec une cheminée servant à l'évacuation des gaz produits pendant la réaction.

Un dispositif fort ingénieux et déjà sanctionné par la pratique est employé pour faciliter les coulées ; il comporte un bras articulé *p* que soutient un support fixé sur la cuve *i* et qui peut tourner autour de son axe *r*. A l'extrémité est fixé convenablement un charbon *s* relié électriquement à la cuve *i* par des câbles souples *t*.

Le four une fois amorcé, le courant se répartit dans les parois de la cuve *i*, monte jusqu'à la couronne *m* d'où il redescend par l'intermédiaire des câbles *n* dans l'électrode *f*. La canalisation de la partie supérieure se comporte donc comme un câble concentrique, c'est-à-dire dont l'un des conducteurs est complètement enveloppé par l'autre. Le même avantage est obtenu dans la sole où le courant descend par le charbon *b* et retourne de la cuve *a* à la ligne ; la self-induction du four lui-même est donc sensiblement annulée et comme les prises de courant sont voisines les unes des autres, la canalisation venant de l'alternateur peut être constituée par conducteurs parallèles et très voisins jusqu'aux bornes mêmes du four.

Les isolants réfractaires *h* et *k* ont pour but d'empêcher les dérivations qui pourraient se produire entre l'électrode *f* et l'enveloppe *i* d'une part, et entre le charbon *f* et la sole à travers la matière à traiter, d'autre part, ainsi que les dérivations directes entre la cuve *i* et la cuve *a* de la sole à travers la matière à haute température qui n'étant pas encore combinée entoure le foyer de réaction.

Lorsqu'il s'agit de la réduction de minerais métalliques pour la production de métaux ces dérivations du charbon central à la sole pourraient atteindre une valeur assez importante vu la conductibilité assez grande des matières à haute température non encore fondues.

Avec le dispositif indiqué par M. J. Pradon, les dérivations sont sensiblement nulles et toute l'énergie calorique est concentrée au centre des réactions.

La suppression de ces dérivations, qui ont pour effet de maintenir les produits obtenus à une haute température dans le voisinage du trou de coulée, rend cette coulée plus difficile. Cet inconvénient est évité par l'effet de l'électrode supplémentaire *s* qui lorsqu'elle est mise en contact avec le produit traité reposant sur la sole et constituant par suite le second pôle du four, fait jaillir un arc entre les deux pôles de façon à produire la fusion de la matière qui bouche le trou de coulée. Le percement de la croûte s'obtient ainsi très facilement.

L'ensemble est supporté par un châssis *x* mobile ou non.

Le dispositif précédent présente une très grande sécurité au point de vue des court-circuits que l'on peut faire avec les outils pendant le chargement, l'enveloppe protectrice *i* et l'électrode étant sensiblement au même potentiel ; pour la même raison les dérivations entre ces deux éléments ne sont pas à craindre même si l'enveloppe réfractaire *k* était quelque peu conductrice.

Il n'est cependant pas nécessaire de placer les prises de courants à la partie inférieure, on peut sans inconvénient les mettre par exemple à la partie supérieure. Dans ce cas la hotte *u*, l'enveloppe *i* et la cuve *a* servent à amener le courant à la sole, tandis que l'électrode supérieure *f* communique directement avec l'alternateur.

Le four que nous venons de décrire est étudié plus spécialement pour les puissances élevées, de 500 à 1 000 chevaux, de façon à ce que l'enveloppe extérieure, si son épaisseur est déterminée par l'intensité du courant à transmettre, ait une résistance mécanique suffisante, ou encore si l'épaisseur est déterminée par des conditions mécaniques, la densité du courant y ait une valeur acceptable.

Le four de M. Pradon nous paraît réaliser un grand progrès sur la plupart des fours existants qui à l'encontre de celui-ci sont généralement peu satisfaisants au point de vue électrique par suite de leur énorme self-induction relative et de l'insuffisance des contacts. Il est, croyons-nous, destiné à un avenir sérieux et méritait d'être signalé à l'attention des producteurs de carbure de calcium et aux électrochimistes en général.

J. Reyval.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

ACCUMULATEURS

Accumulateur Van Kampen. Brevet hongrois 15278, du 22 novembre 1898.

Les plaques de cet accumulateur sont du type Planté à grande surface.

Elles sont constituées de petites plaques unitaires A'A'' disposées parallèlement en laissant entre elles un intervalle et soudées aux nervures horizontales B et D (voir fig. 1 à 3).

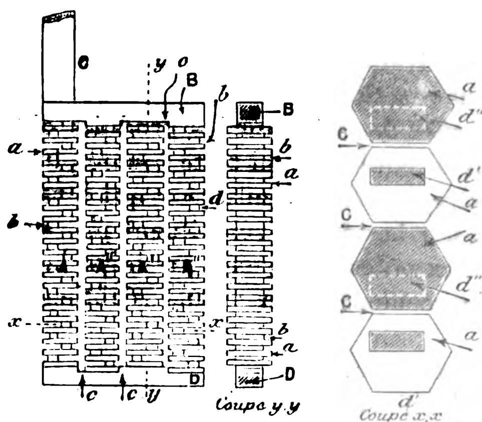


Fig. 1 à 3.

Chaque plaque unitaire est composée d'un grand nombre de petites lamelles horizontales *a* ayant la forme qu'indique la figure 3 ; entre chacune d'elles se trouve un intervalle *b* égal à l'épaisseur *a*. Ces lamelles sont reliées par des nervures *d'd''* placées en zigzag de façon à éviter la déformation de la plaque. Celle-ci, ainsi formée, présente une très grande surface, et grâce à la disposition adoptée, l'électrolyte peut circuler librement tout autour des lamelles actives.

L. J.

Sur les accumulateurs secs, par **C. Liebenow.** *Centralblatt für Accumulatoren und Elementenkunde*, t. I, 15 février 1900.

On sait que la mobilité de l'électrolyte cause de nombreux préjudices quand il s'agit d'éléments transportables. C'est pour cette raison qu'un assez grand nombre de chercheurs ont proposé d'immobiliser l'acide à l'aide de matières inertes, en poudre ou en fibre, capables de l'absorber. Ils pensaient aussi retarder par cet emploi la chute de la matière active et éviter les courts-circuits intérieurs. Parmi les nombreuses matières brevetées à cet usage, on peut citer : l'amiante, le coton de verre, l'albumine, l'argile cuite, la pierre ponce, le parchemin, la cellulose, le savon, les acides gras, le gypse, le sable, etc.

Cependant l'emploi de ces substances paraît avoir été abandonné, et l'auteur en recherche les causes : d'abord il est absolument faux que les courts-circuits soient ainsi évités. Si les plaques sont sujettes à déformation, la force qui agit est assez grande pour repousser lentement la poudre interposée et le court-circuit se produit tout comme si elle n'existait pas. D'autre part, le peroxyde qui tombe des positives vient se loger dans les fissures qui se produisent dans la masse ou dans les intervalles des grains ou

des fibres, si on emploie la matière en grains ou en fibres, et au bout d'un certain temps, il se forme un pont de matière qui relie les deux électrodes et crée un court-circuit. Celui-ci est d'ailleurs plus grave que dans le cas d'un élément ordinaire, car il oblige à démonter complètement l'accumulateur, et si cette opération n'est pas faite suffisamment à temps, il en résulte une détérioration des plaques.

L'emploi de ces substances a en outre un inconvénient beaucoup plus important, c'est l'augmentation de la résistance intérieure de l'élément en même temps que la diminution de capacité qui peut atteindre 20, 30 et 40 p. 100 pour les intensités élevées. Ce dernier inconvénient ne provient pas d'une plus grande résistance intérieure, car il suffirait alors de pousser un peu plus loin la décharge (jusque 1,7 ou 1,6 volt) pour obtenir la capacité. En réalité il n'en est pas ainsi et c'est par défaut d'acide dans les plaques que la capacité est diminuée. La diffusion se fait plus difficilement que dans le cas de l'acide libre, et ce qui est plus important encore, les courants de concentration, qui sont, comme l'a démontré Dolezalek, la cause principale de l'introduction de l'acide sulfurique à l'intérieur des plaques, ne peuvent plus se former.

Le mélange de l'acide par suite du dégagement gazeux qui se produit à la fin de la charge dans le cas de l'acide libre, ne peut pas non plus se faire quand on emploie le liquide immobilisé.

Ces différents inconvénients qui sont inévitables, quelle que soit la matière employée, sont la raison de l'abandon de l'accumulateur sec.

L. J.

Accumulateur au plomb A. Heinemann. — *Centralblatt für Accumulatoren und Elementenkunde*, t. I, p. 87, 1er mars 1900.

Pour les accumulateurs d'automobiles, les électrodes genre Planté sont trop lourdes ; de plus, leur durée n'est pas aussi grande qu'on le croit généralement. L'auteur préfère pour cet usage les plaques à pastilles, et il a bréveté une pâte spéciale qui donne à la fois capacité et durée.

Ce brevet (brevet allemand 107 726, du 12 juin 1898) revendique l'emploi des huiles essentielles de certaines familles de plantes, telles que les huiles de cyprès, de bouleau ou de pin. Ces huiles, qui se résinifient facilement en absorbant l'oxygène de l'air, sont mélangées aux oxydes de plomb ; on malaxe l'ensemble et la pâte obtenue est introduite dans les quadrillages qu'on sèche puis ensuite qu'on forme par le courant. Celui-ci aide à l'oxydation et la résinification se produit rapidement.

La matière résineuse ainsi obtenue est très divisée et enchaîne intimement les particules de matière active sans les isoler les unes des autres comme ce serait le cas si on mélangeait directement la résine aux oxydes.

Dans le tableau suivant l'auteur donne comparativement les principaux éléments caractéristiques de son accumulateur, de celui d'une société allemande et de l'accumulateur Fulmen.

TYPE	Deutsche Accumulatoren Gesellschaft C	Accumulateur Fulmen B	Accumulateur Heinemann P
Dimensions des électrodes, en millimètres	175×130×5	175×100×5	180×100×5
Surface des électrodes, en dm².	2,275	1,75	1,80
Poids de l'électrode positive, en gr.	680	475	620
Décharge, en amp	2,3	3,5	2,5
Capacité, en amp.-h	13,8	17	20
Poids par dm², en gr.	300	272	344
Capacité par dm², en amp.-h.	6,1	9,7	11
Capacité par kg d'électrode positive, en amp.-h	20,3	35,7	32,3
Capacité par kg de plaques, en amp.-h	11,6	16	17
Capacité par kg d'élément, en amp.-h	7,5	10,6	13
Capacité par kg de plaques, au régime de décharge de 1 amp. par dm², en amp.-h	8,3	18	24,2

Une batterie de ce dernier type est en exploitation depuis cinq mois sur une voiture-poste à marchandises, de la « Kaiserlichen Ober-Postdirektion » de Berlin. Cette batterie se compose de 44 éléments et pèse 800 kg.

Le poids propre de la voiture est 2 774 kg et le poids total utile de 2 500 kg. Tous les jours, depuis cinq mois, la voiture parcourt 56 km ce qui correspond à une capacité débitée de 200 amp.-h. à une intensité moyenne de décharge de 40 amp. et un voltage moyen de 84 volts.

Au point de vue de la durée cet élément serait

ainsi supérieur à l'accumulateur Fulmen dont la durée maxima est de 100 charges. L. J.

Sur les émanations des accumulateurs, par **D. Helbig.** *L'Elettricista*, t. VIII p. 272, décembre 1899.

Les expériences qui suivent ont été faites en vue de déterminer la nature chimique des émanations des accumulateurs, émanations si désagréables pour la respiration et si nuisibles pour les objets environnants; ces expériences ont été faites sur une batterie de 304 éléments Tudor type D, à la station de transformation de la Société Anglo-romaine, à la Porte Pia.

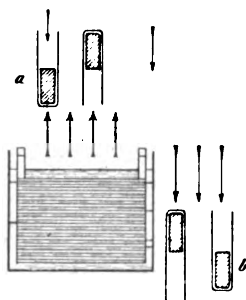


Fig. 1.

Les substances dégagées peuvent être : 1° de l'acide sulfurique provenant des bacs, mécaniquement divisé en minuscules gouttelettes et projeté dans l'air par les bulles de gaz dues à l'électrolyse lorsque celles-ci viennent à se rompre à la surface du liquide. — 2° de l'anhydride sulfureux formé par réduction électrolytique de l'acide sulfurique. — 3° de l'ozone résultant de l'électrolyse avec de grandes densités de courant. — 4° de l'hydrogène antimonié provenant de l'antimoine contenu dans les plaques négatives.

Pour déceler la présence de ces trois derniers gaz, l'air du local où se trouvaient les acculateurs fut aspiré et forcé à traverser une solution diluée de permanganate de potassium (les substances organiques étaient éliminées au préalable par filtration de l'air à travers un tampon de coton), une d'indigo et une de nitrate d'argent au 1/10.

L'expérience était faite pendant la nuit quand, la batterie étant en charge sans fournir de courant, le maximum d'effervescence se manifestait; les réactifs ne subirent aucune altération. Reste donc l'hypothèse de la pulvérisation de l'acide sulfurique.

Une lame de verre bien propre fut disposée à trois mètres des accumulateurs sur le même niveau ; au bout de 24 heures, elle était recouverte d'une rosée d'acide sulfurique. Pour suivre la trajectoire de ces projections acides, deux larges éprouvettes furent disposées côte à côte dans le local des accumulateurs ; l'une droite et l'autre renversée, toutes deux munies d'un papier de tournesol bleu. Au bout de quelques heures, lorsque les épouvettes étaient dans la position *a* (fig. 1) les deux papiers de tournesol viraient au rouge ; dans la position *b*, le papier de l'éprouvette droite seulement virait, celui de l'éprouvette renversée n'était pas altéré. L'action est donc bien due à des gouttelettes projetées dans l'air et retombant par leur propre poids.

L'auteur conclut de là que pour la ventilation des pièces à accumulateurs, on devrait faire cheminer l'air de haut en bas, afin d'ajouter son effet à celui de la pesanteur. G. G.

APPAREILS DE LEVAGE

Génératrices, moteurs et appareillages pour appareils de levage électriques, par **F. Niethammer.** *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXI, p. 33, 11 janvier 1900 et p. 55, 18 janvier 1900.

Avant d'aborder la description des appareils de levage, l'auteur esquisse une étude graphique des problèmes qui peuvent se poser à propos de ces appareils. Supposons donnée la courbe de vitesse de l'appareil. Nous en déduisons (fig. 1 à 3) les couples des forces de traction en fonction de

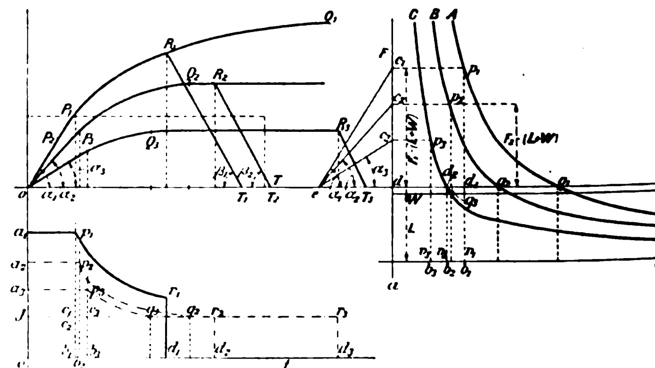


Fig. 1 à 3.

la vitesse v pour un moteur série. La grandeur L représente l'effort à vaincre et W la perte de travail dans tout l'ensemble compris entre le moteur et le point d'application de la charge. Prenons par exemple la courbe B. Il reste comme

force appliquée à l'ensemble $F_2 - L - W$. Si l'on prend $d =$ à la somme des masses à mettre en mouvement et $dc_2 = d_2 p_2 = F_2 - (L + W)$, α_2 représente la grandeur de l'accélération si on a choisi une échelle convenable. Dans la figure 2 on a porté la vitesse en fonction du temps. La courbe part de l'origine sous un angle α_2 et v augmente jusqu'à ce qu'on ait atteint la vitesse $ab_2 = v_2$ correspondant à $b_2 p_2 = F_2$. On a supposé un démarrage à accélération constante et intensité à peu près constante et égale à l'intensité maxima. Lorsqu'on a atteint le point P_2 de la figure 2 qui correspond à p_2 de la figure 1 la première partie du démarrage est terminée et le rhéostat est mis en court-circuit. La vitesse augmente jusqu'en q_2 où le couple moteur ne sert plus qu'à vaincre les résistances mécaniques. Dans cet intervalle la vitesse passe de P_2 à Q_2. Le moteur est alors arrivé à sa vitesse de régime. En R_2 commence la période de freinage et nous supposerons le ralentissement constant. L'angle β_2 sera aussi près d'un angle droit qu'on le pourra en évitant les chocs. Reste à déterminer le point R_2 pour une hauteur de levage donnée.

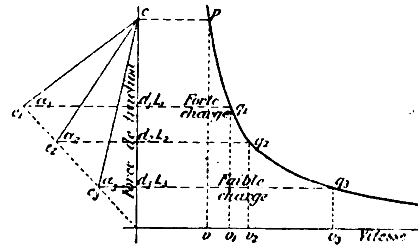
On a $\frac{dh}{dt} = v$, d'où $h = \int v dt$.

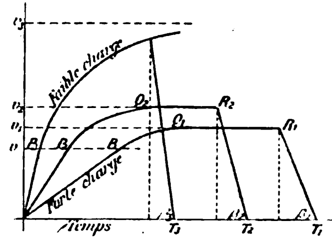
La surface $OQ_2R_2T_2O$ représente donc la hauteur de levage ce qui détermine R_2; OT_2 représente la durée de levage. La figure 3 représente l'intensité en fonction du temps. La surface $a_2p_2 q_2r_2d_2oa_2$ représente la quantité d'électricité consommée par course. On a représenté aussi les courbes correspondant à un plus grand et un plus petit moteur. Le premier A n'arrive pas à sa période de régime ; son temps de levage est le plus court et la quantité d'électricité consommée n'est pas plus grande que pour B et sensiblement plus petite que pour C.

Pour un modèle déterminé on peut figurer les mêmes courbes pour différentes charges, ce qui donne des renseignements exacts pour les durées de levage et la consommation (fig. 4 à 6).

Les usines génératrices pour moteurs de levage doivent être étudiées avec un soin particulier : les volants doivent être lourds ; les régulateurs ne doivent pas permettre, entre la pleine charge et la mache à vide, un écart supérieur à 2 p. 100. Les dynamos doivent fonctionner à calage fixe sans étincelle : d'autre part le courant maximum étant très intermittent on les calculera au point de vue de l'échauffement pour un courant inférieur au courant maximum.

L'emploi de batteries d'accumulateurs est très indiqué pour actionner les appareils de levage. En se servant d'une machine auxiliaire avec double enroulement inducteur, on peut obtenir une tension constante aux bornes des lampes, même avec de fréquents démarrages des moteurs.





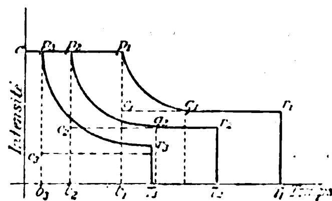


Fig. 4 à 6.

Dans le schéma de la figure 7, D représente la génératrice, Z une machine auxiliaire. Quand les moteurs M démarrent les accumulateurs se déchargent fortement et par suite leur tension baisse. Le courant de la machine D tend à croître mais la machine Z porte un second enroulement qui affaiblit son champ lorsque le courant fourni par D augmente, de sorte que la tension de D + Z baisse en même temps que celle de la batterie ; par suite le courant fourni par D n'excède pas l'intensité normale et la tension aux bornes des lampes reste constante. Quand D est arrêtée on a le couplage de la figure 8. Le circuit à gros fil de Z renforce le champ. Si la tension des accumulateurs baisse lors d'un démarrage, la tension

des lampes reste constante par l'accroissement de la tension de Z.

La nécessité de conserver une tension constante des génératrices au moment du démarrage brusque de réceptrices très chargées est encore plus marquée pour les courants polyphasés ; car le couple des moteurs polyphasés varie environ comme le carré de la tension et dans ces conditions des moteurs à pleine charge pourraient s'arrêter. De là viennent les nombreux efforts faits pour le compoundage des alternateurs.

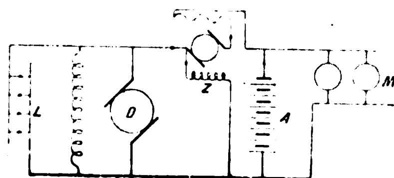


Fig. 7.

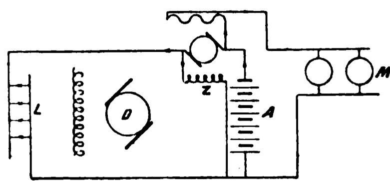


Fig. 8.

En ce qui concerne la protection des appareils de levage, les coupe-circuits magnétiques sont préférables aux fusibles, car le fonctionnement de ces derniers est incertain. D'autre part le coupe-circuit magnétique fonctionne à chaque à coup, si on ne le règle pas pour de très hautes intensités et le personnel peut toujours l'attacher. Le dispositif suivant permet de donner aux coupe-circuits magnétiques le caractère des fusibles. Une résistance N (fig. 9) à coefficient de température élevée se trouve en dérivation aux bornes de la bobine S du coupe-circuit. Si le courant dépasse la valeur normale, S ne fonctionne pas tout de suite, mais peu à peu le courant qui traverse N l'échauffe, sa résistance augmente et par suite, le courant augmentant dans S, la bobine fonctionne.

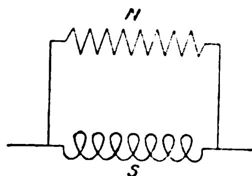


Fig. 9.

Les moteurs en usage pour les services ordinaires ne sont pas utilisables pour les appareils de levage, car la fréquence des démarrages et des arrêts occasionnerait aux moteurs ordinaires de sérieux dommages. En général on les sature fortement et on leur donne des densités de courant élevées. Le nombre de tours doit être aussi bas que possible car de la sorte la durée du démarrage et du freinage est bien restreinte.

Comparons l'énergie nécessaire au démarrage de deux moteurs de même puissance et d'un nombre de tours différent. Le poids de l'induit d'un moteur de 50 chevaux est de 470 kg pour 540 tours avec un diamètre de 36 cm ; pour un moteur de 195 tours on a 800 kg et 56 cm. Si on calcule dans les deux cas la quantité $m\omega^2 r^2$ on trouve pour le rapport des énergies de démarrage 2,9.

Les balais doivent être à calage fixe sans étincelle, ce qui conduit à une forte saturation et à l'emploi de balais en charbon. Les moteurs série sont préférables pour tous les appareils de levage où le démarrage ne peut se faire à vide et où l'emballement est impossible. Le démarrage est rapide, puissant, sans choc même en cas de surcharge ; la vitesse est facilement réglable et on peut freiner électriquement en le faisant travailler sur des résistances, mais jamais en le faisant débiter sur la ligne. On construit maintenant des moteurs série pour appareils de levage où l'intensité n'est pas plus grande au démarrage qu'au moment de la pleine vitesse. Le bobinage inducteur est divisé en plusieurs parties qu'un commutateur automatique avec souffleur met successivement hors circuit.

Les moteurs shunt s'emploient surtout lorsque la vitesse doit rester la même à toutes charges et aussi lorsque le démarrage peut se faire à vide, c'est-à-dire lorsque la charge est équilibrée par un contrepoids. Le compoundage n'est pas nécessaire pour les moteurs de levage. Pour les moteurs série de certaines grues on emploie parfois un enroulement shunt qui affaiblit le champ au moment de la marche arrière et permet un retour rapide.

Les bâtis des moteurs doivent être établis de façon à protéger toutes les parties qui auraient

à souffrir de chocs, d'humidité ou de corps étrangers. On peut soit les placer dans des caisses de bois ou de fer, soit les enfermer complètement; le premier moyen augmente l'encombrement; le second augmente l'échauffement. L'isolement entre les fils et la masse doit être très élevé surtout dans les moteurs avec marche arrière. Les moteurs de 500 volts de la General Electric Company sont essayés à 5 000 volts alternatifs entre les inducteurs et la masse, à 2 500 volts entre l'induit et les tôles et à 500 volts entre deux lames du collecteur.

Le moteur polyphasé est supérieur au moteur continu comme appareil de levage; il permet une grande surcharge, un couple de démarrage élevé et donne un grand rendement. On peut établir un moteur à champ tournant qui ne cale que sous une charge deux fois et demie plus grande que la normale, et qui sous une tension égale aux 2/3 de la tension normale donne encore son couple normal. Il est également utile d'avoir une faible vitesse; mais on ne peut atteindre ce résultat qu'en augmentant le nombre de pôles ce qui diminue cos φ. En tout cas le moteur doit également bien démarrer dans toutes les positions, ce qui conduit à mettre beaucoup de barres sur l'induit, à rendre aussi différents que possible le nombre des barres de l'induit et le nombre des barres d'inducteurs. La ventilation doit être soignée, puisque c'est l'échauffement seul qui limite la puissance.

Les moteurs monophasés sont à rejeter pour le levage. Si on est forcé de recourir à un réseau monophasé, on aura intérêt à faire marcher le moteur sans interruption et toujours dans le même sens. Stigler à Milan a fait breveter le dispositif de la figure 10. Un système centrifuge R tend à soulever un poids G et lorsqu'il atteint une certaine vitesse enclenche le frein d'accouplement K.

Le problème le plus important et le plus difficile à résoudre pour les appareils de levage, c'est la construction de l'appareillage. Si l'intensité et la vitesse doivent croître graduellement au moment du démarrage et en progression géométrique, les différentes résistances doivent également suivre une progression géométrique. Dans les moteurs à champ tournant on met presque toujours les résistances dans le rotor et on les fait varier de quantités égales.

Pour déterminer les résistances de démarrage de ces moteurs, on se sert des diagrammes de la figure 11. Soient OB la tension, OA la tension de dispersion primaire et le courant magnétisant J à vide, OE le courant de court-circuit. Au démarrage, OG représente le courant minimum et OF le courant maximum. CH mesure la puissance aux bornes pour l'intensité minimum et DJ pour l'intensité maximum. La valeur DJ est calculée d'après l'intensité que l'on admet en ligne.

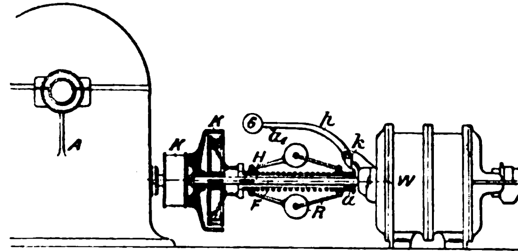


Fig. 10.

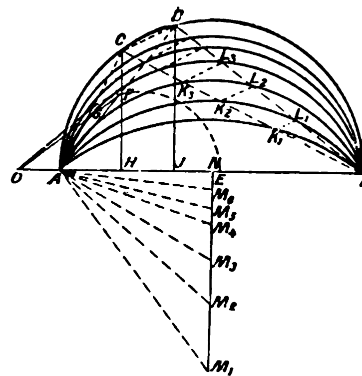


Fig. 11.

BC coupe le cercle M_1 en K_1; on mène $K_1 L_1$ parallèle à CD. A, L_1, B déterminent un cercle M_2, etc. Les grandeurs NM_1, NM_2, etc., sont proportionnelles au produit du courant du court-circuit et de la résistance de l'induit; $M_1 M_2$, $M_2 M_3$, correspondent donc directement aux diverses résistances du rhéostat.

La durée du démarrage doit être faible, d'abord pour rendre le rhéostat économique et ensuite pour économiser autant d'énergie que possible. Les résistances doivent avoir une forme déterminée que l'échauffement ne puisse altérer; elles doivent être bien aérées, sans quoi des démarrages fréquents pourraient les échauffer. Les résistances liquides ont l'avantage d'être peu encombrantes, économiques et gra-

duelles, mais elles ont l'inconvénient de s'évaporer, ce qui change la résistance, de se renverser, de donner lieu à une variation brusque de courant au moment du court-circuit par suite de la polarisation.

Il faut toujours parer aux étincelles soit avec des contacts en charbon, soit avec des souffleurs magnétiques.

Sans vouloir décrire tous les dispositifs de

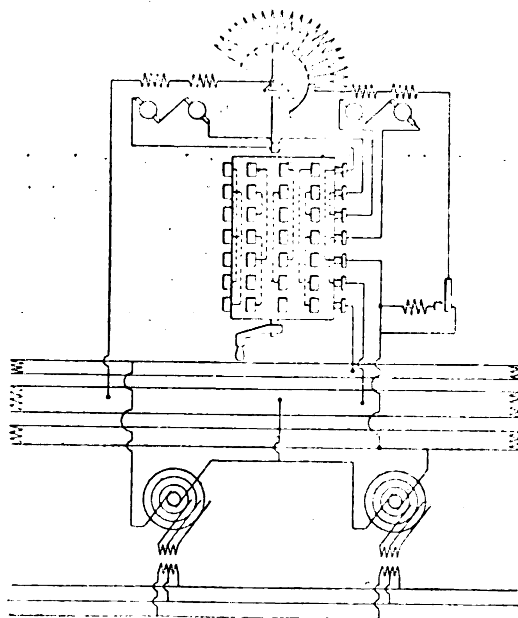


Fig. 12.

démarrage, nous en signalerons deux, représentés par les figures 12 et 13. Dans celui de la figure 12 les résistances d'excitation sont en dehors du contrôleur et sont commandées par un levier actionné par un engrenage conique, ce qui réduit les dimensions. L'appareil représenté par la figure 13 est un contrôleur tandem pour deux moteurs à champ tournant en triangle, breveté par Petter et Case. Il y a une ligne de rotor et une ligne de stator mises à la terre (G). T_1, T_2, G sont les bornes du réseau; R_1 R_2 R_3 les résistances de démarrage du stator du deuxième moteur (U. S. P. 568.458; 1896).

Dans les moteurs continus, on règle la vitesse :

1° En faisant varier le champ, au moyen d'une résistance en série dans l'excitation pour les moteurs shunt ou en parallèle pour les moteurs série. Cette méthode exige des moteurs grands et coûteux si l'échelle de réglage est étendue : mais le fonctionnement est commode et économique.

2° En faisant varier la tension aux balais au moyen de rhéostats en série avec l'induit ; la puissance diminue, le couple reste constant, la diminution de vitesse est indépendante de la charge. Cette méthode permet l'emploi de moteurs ordinaires mais est très onéreuse.

Pour un réglage étendu il est indiqué, soit d'avoir divers enroulements sur l'induit, soit d'avoir deux induits ou même deux moteurs que l'on puisse mettre en parallèle ou en série. L. Schwartz Kopff combine ce système avec une résistance en dérivation et arrive ainsi à faire varier la vitesse d'un moteur de 10 chevaux de 400 à 1 600 tours.

Il est plus difficile de faire varier la vitesse d'un moteur à champ tournant. On met ordinairement une résistance dans le circuit de l'induit, ce qui fait varier le nombre de tours par glissement; mais la variation dépend de la charge et la puissance diminue si le glissement augmente. Il est absurde de mettre des résistances dans le primaire : d'une part cette marche n'est pas économique ; d'autre part le couple diminue proportionnellement au carré de la tension. Il vaut mieux employer les auto-transformateurs que la Westinghouse Cie emploie fréquemment pour les moteurs de grue avec induits en cage d'écureuil.

Un dispositif intéressant, le système Léonard, est souvent employé en Amérique pour les ascenseurs. Un moteur shunt actionne constamment une génératrice spéciale dont le circuit inducteur peut être réglé dans de larges limites et qui fournit une tension variable aux bornes du moteur de levage (fig. 14). Si nous comparons deux projets pour une installation où la vitesse devra varier dans le rapport 1 : 4, l'un comprenant un moteur shunt avec réglage du champ et rhéostat de démarrage, l'autre comprenant deux moteurs ordinaires M_1, M_2, une génératrice G, un rhéostat de champ et un rhéostat de démarrage à vide, on trouve dans ce second cas une plus-value qui n'est que de 15 à 20 p. 100.

La question essentielle pour la sécurité d'un appareil de levage, c'est le freinage. Nous n'étudierons que les freins électriques.

Le moteur lui-même peut servir de frein, soit en le faisant débiter sur des résistances, soit en le faisant travailler sur la ligne (moteurs shunt

ou à champ tournant). On ne peut obtenir ainsi d'arrêt complet et il faut à la fin un freinage mécanique ou un courant inverse. Le freinage le plus puissant consiste à renverser le courant dans l'induit ou à échanger deux phases; mais il faut procéder avec précaution. On emploie beaucoup les freins fondés sur l'action retardatrice des courants de Foucault, mais là encore l'arrêt

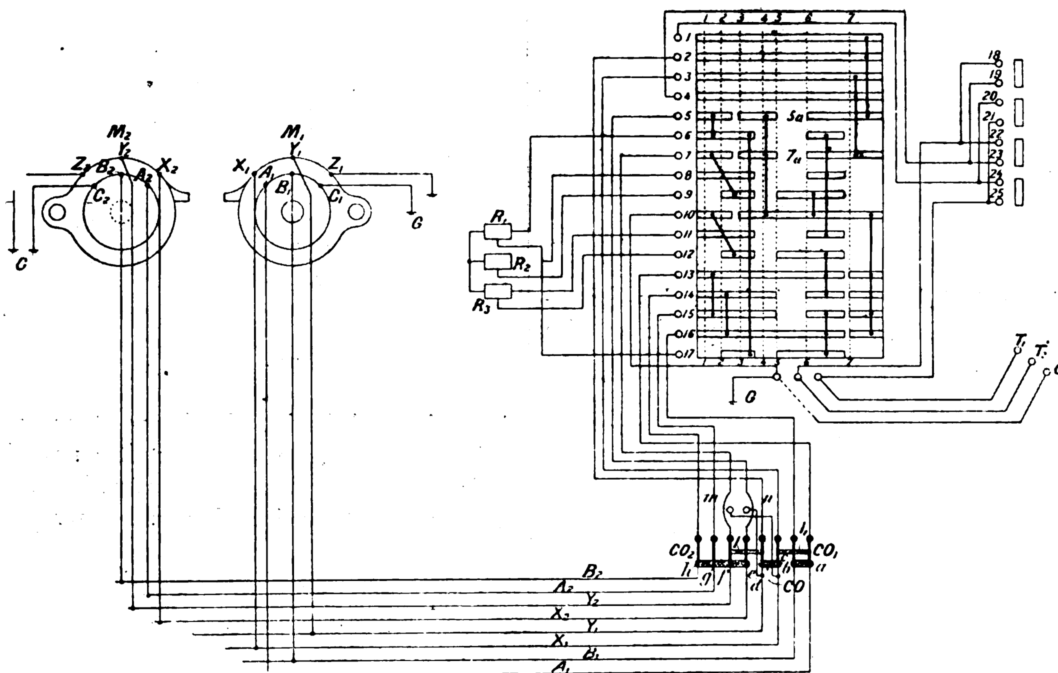


Fig. 13.

complet ne peut s'obtenir que par des moyens mécaniques : Deri se sert d'un régulateur centrifuge.

Pour les grues tournantes, on se sert souvent de freins mécaniques pour soutenir ou descendre la charge. La figure 15 représente un frein à pa-

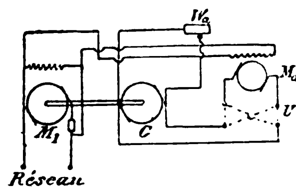


Fig. 14.

tin de Wagel et Kamp. Les patins intérieurs permettent le levage : à la descente ils prennent appui sur le tambour et arrêtent la charge à moins qu'on n'écarte le tambour.

A côté des innombrables accouplements élastiques, nous signalerons les embrayages électromagnétiques. Les deux manchons ont partout des pôles en forme de dents, aimantés par une bobine commune. Au moment du démarrage ou d'une surcharge, il y a glissement.

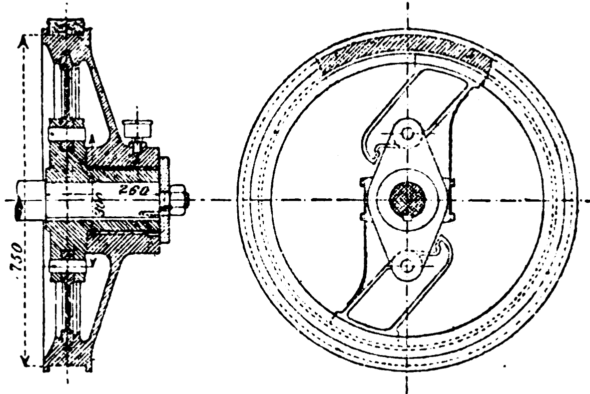


Fig. 15.

La vitesse des appareils de levage ne dépasse guère en Europe 2 mètres par seconde, tandis qu'en Amérique on atteint 3 mètres et plus. Comme ascenseurs à marche rapide on peut citer les appareils de Sprague et Fuller-Fraser. Le

moteur de Sprague n'a qu'un seul sens de rotation et fait tourner une longue vis munie de

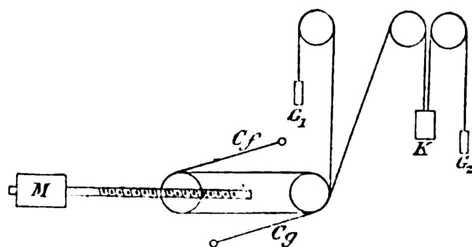


Fig. 16.

coussinets à billes pour diminuer les frottements. Cette vis commande la poulie mobile d'une moufle. On a donc une première trans-

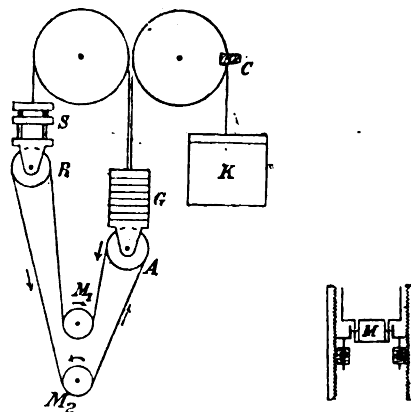


Fig. 17 et 18.

formation qui diminue la vitesse et une seconde qui l'augmente, ce qui ne nuit au rendement mais donne une marche très régulière (fig. 16). L'intensité est considérable au démarrage, nulle

Fig. 19.

à la descente, de sorte que si les génératrices servent aussi à l'éclairage on peut avoir des baisses de tension. La commande se fait par un petit moteur auxiliaire et dans la cabine il n'y a qu'un commutateur.

L'ascenseur de Fuller-Fraser comprend deux électromoteurs (fig. 17) M_1 et M_2 commandant un câble sans fin multiple qui se déplace avec une vitesse égale à la différence des vitesses circonférencielles des poulies des deux moteurs. Au démarrage les nombres de tours des deux moteurs sont les mêmes, ce qui évite tout choc.

Les ascenseurs pour personnes comportent une série de dispositifs de sécurité. Aux extrémités de la course la cabine doit s'arrêter d'elle-même. A cet effet on dispose deux butées sur le câble; ou encore on munit le tambour d'un taquet qui vient frapper sur une roue dentée : celle-ci provoque l'arrêt aux extrémités de la course. En outre on dispose aux deux fins de course des interrupteurs à charbon.

Nous signalerons un dispositif particulier employé par Oerlikon pour monte-charges. L'électromoteur est placé sur le plancher mobile et commande deux pignons ou deux vis sans fin qui engrènent avec deux crémaillères adaptées sur les glissières de montée (fig. 18).

Les ponts roulants électriques peuvent se diviser en 2 catégories :

1° Les ponts roulants à un seul électromoteur ;

2° Les ponts roulants à trois moteurs.

Ce dernier dispositif est très simple, économique et convient pour les grandes vitesses et les grandes portées. Mais les circuits de la cabine au pont sont plus compliqués. Le moteur de translation est placé au milieu. La commande est placée dans la cabine située dans le pont. On se sert habituellement de machines série avec freinage électrique ; en outre, pour le mouvement de levage on a des freins mécaniques. Le courant est amené par des roulettes semblables aux trôlets ou par de simples contacts.

La figure 19 représente la partie mobile d'une grue tournante de l'usine Mohr et Federhaff et de la société Schuckert. A_2 est le contrôleur de rotation et A_1 le contrôleur de levage. Les moteurs sont blindés.

E. B.

TRACTION ÉLECTRIQUE

Etude comparative des systèmes de traction pour l'exploitation des tramways en France, par **Charles Jean.** *Génie civil,* t. XXXVI, p. 6, 21 et 38.

Dans cette étude qui à cause de son importance, devait être signalée dans le journal, mais dont les conclusions sont, comme nous le verrons, trop pessimistes en ce qui concerne la traction électrique, l'auteur examine successivement les dépenses d'établissement et les dépenses d'exploitation. Pour les premières, il envisage la construction de la voie, l'achat du matériel roulant, les bâtiments, usines et dépôts. Pour les secondes : les charges d'entretien et de renouvellement du matériel et de la voie, l'intérêt et l'amortissement du capital de premier établissement, les dépenses d'exploitation proprement dites. Dans chacune de ces divisions, il examine les divers modes de traction.

I. Dépenses de premier établissement. — 1° *Voie.* — Pour la voie normale de 1,44 m et pour la traction animale, la dépense par km est évaluée à 21 000 fr pour les voies en accotement des tramways sur route, 33 000 fr pour les mêmes voies et construction d'un trottoir, à 60 000 fr pour les voies urbaines avec rails (Broca ou Marsillon) de poids moyens (30 à 40 kg : m) posés sur sable ; à 85 000 ou 90 000 fr pour les voies urbaines de grandes villes avec rails de poids élevé (supérieur à 40 kg : m) posés sur fondation bétonnée.

Pour les voies avec équipement électrique, il y a lieu de distinguer le cas de la voie simple et le cas de la voie double. Dans le premier cas, la dépense par km est évaluée à 40 000 fr pour voies sur route avec trôlet aérien, à 49 000 fr pour voies urbaines dans les villes de moins de 50 000 habitants ; à 56 000 fr pour les mêmes voies avec poteaux doubles. Dans le second cas, la dépense serait de 151 000 fr pour voies urbaines dans les villes de 50 000 habitants et de 211 000 fr dans les villes de plus de 100 000 habitants, ces deux chiffres pouvant être diminués de 10 000 fr si au lieu des poteaux tendeurs on emploie des poteaux à console. Ces prix moyens ne comprennent pas la dépense de l'installation des feeders.

Pour les voies électriques avec caniveau souterrain, le prix est de 230 000 fr par km de voie simple, d'après les dépenses occasionnées par la ligne de Bastille-Charenton.

Tableau I. — *Dépenses de premier établissement.*

MODE DE TRACTION	VOIE (double)	MATÉRIEL roulant	USINE	BATIMENTS et dépôts	TOTAL
Ville de plus de 100 000 habitants.					
Animale	1 800 000	950 000	»	718 000	3 468 000
Rowan	1 800 000	1 480 000	»	192 000	3 473 000
Serpollet	1 800 000	1 056 000	»	192 000	3 048 000
Air comprimé	1 800 000	1 200 000	450 000	192 000	3 642 000
Lamm et Francq	1 800 000	1 680 000	240 000	180 000	4 200 000
Electricité par accumulateur	1 800 000	1 200 000	400 000	192 000	3 590 000
— par fil aérien	2 210 000	960 000	385 000	192 000	3 777 000
— par caniveau	4 000 000	960 000	385 000	192 000	5 637 000
— système Diatto	2 500 000	960 000	385 000	192 000	4 037 000
— — Claret-Vuilleumier	2 600 000	960 000	385 000	192 000	4 137 000
Ville de 50 000 à 100 000 habitants.					
Animale	1 200 000	443 000	»	326 000	1 969 000
Rowan	1 200 000	840 000	»	90 000	2 130 000
Serpollet	1 200 000	600 000	»	90 000	1 880 000
Air comprimé	1 200 000	600 000	392 000	90 000	2 282 000
Lamm et Francq	1 200 000	840 000	150 000	270 000	2 460 000
Electricité par accumulateur	1 200 000	630 000	288 000	90 000	2 208 000
— par fil aérien	1 560 000	510 000	316 000	90 000	2 476 000
— par caniveau	3 200 000	510 000	316 000	90 000	4 116 000
— système Diatto	1 850 000	510 000	316 000	90 000	2 776 000
— — Claret-Vuilleumier	1 950 000	510 000	316 000	90 000	2 866 000
Ville de moins de 50 000 habitants.					
	Voie (simple)				
Animale	300 000	152 000	»	59 000	511 000
Rowan	300 000	400 000	»	32 000	732 000
Serpollet	300 000	288 000	»	32 000	620 000
Air comprimé	300 000	240 000	210 000	32 000	782 000
Lamm et Francq	300 000	336 000	100 000	92 000	828 000
Electricité par accumulateur	300 000	288 000	168 000	32 000	788 000
— par fil aérien	520 000	240 000	306 000	32 000	1 092 000
— par caniveau	1 300 000	240 000	306 000	32 000	1 878 000
— système Diatto	600 000	240 000	306 000	32 000	1 178 000
— — Claret-Vuilleumier	650 000	240 000	306 000	32 000	1 228 000
Ligne suburbaine et interrubaine.					
Animale	210 000	89 000	»	40 000	339 000
Rowan	210 000	250 000	»	20 000	480 000
Serpollet	210 000	180 000	»	20 000	410 000
Air comprimé	210 000	150 000	150 000	20 000	530 000
Lamm et Francq	210 000	210 000	60 000	60 000	540 000
Electricité par accumulateur	210 000	180 000	96 000	20 000	506 000
— par fil aérien	380 000	130 000	224 000	20 000	754 000

Pour les voies électriques à contact superficiel, la dépense kilométrique des installations électriques seules pour voie simple est évaluée à 30 000 fr pour le système Diatto et à 35 000 fr pour le système Claret et Vuilleumier.

Les frais d'établissement de 10 km de voie double sont indiqués dans la seconde colonne du tableau récapitulatif I.

2° *Matériel roulant.* — Pour la traction animale, le prix de revient d'une voiture avec ses accessoires et les chevaux serait de 9 725 fr pour les tramways à 1 cheval d'une petite installation ; 15 550 fr pour les tramways à 2 chevaux d'une installation moyenne ; 20 025 fr pour un tramway à 2 chevaux d'une grande installation.

Une automobile Rowan de 43 places revient à

environ 30 000 fr, une automobile Serpolet à 30 places à 18 000 fr, une automobile Serpolet à 50 places à 22 000 fr.

Le prix de revient d'une automobile à air comprimé est de 14 000 fr pour une voiture de 32 places (Nantes) ; de 22 000 fr pour une voiture de 51 places (Nogentais) ; de 28 000 fr pour une voiture à 56 places (Compagnie des Omnibus), lorsque la pression employée est de 30 à 45 atmosphères ; le prix s'élève à 36 000 fr pour une voiture de 50 places, lorsque, comme au tramway de Saint-Maur, la pression de l'air atteint 80 atmosphères.

Les locomotives sans foyer, système Lamme et Frank, coûtent de 18 à 30 000 fr l'une, les voitures remorquées de 3 à 5 000 fr.

Une automobile à accumulateurs de 50 à 56 places, d'un poids moyen de 16 tonnes, varie de 18 000 à 30 000 fr.

Les automobiles électriques avec trôlet aérien, souterrain ou au niveau du sol, reviennent de 13 000 à 20 000 fr, suivant que le nombre de places varie de 30 à 50.

Les prix unitaires des voitures dans les différents systèmes de traction étant connus, il faut, pour déterminer la dépense totale du matériel roulant, connaître le nombre de voitures, nombre qui dépend d'une part de la vitesse moyenne des voitures, d'autre part de la fréquence de leurs départs. Pour la vitesse moyenne, l'auteur admet 9 km : h et 10 km : h dans le cas de la traction animale sur réseaux urbains et sur réseaux suburbains, 10 km : h et 15 km : h dans le cas de la traction mécanique. Quant à la fréquence, elle dépend nécessairement de l'importance du réseau. En supposant que la ligne à desservir a une longueur de 10 km et qu'elle dessert une ville de plus de 100 000 habitants, l'auteur prend 3 minutes pour l'intervalle séparant deux départs consécutifs et se trouve amené à prévoir dans ce cas 44 voitures à traction animale ou 40 à traction mécanique ; en tenant compte de la réserve, qui doit être proportionnellement plus élevée pour les automobiles que pour les voitures à chevaux, il arrive aux chiffres de 52 voitures à chevaux et de 48 voitures automobiles. En admettant une fréquence maximum de départs égale à 12 par heure dans une ville de 50 000 à 100 000 habitants, il trouve 32 voitures à chevaux et 30 automobiles. Pour une ville de moins de 50 000 habitants, la fréquence étant de 6 départs par heure, il obtient 18 et 16 ; enfin, pour une ligne suburbaine avec départs tous les quarts d'heure, il trouve 12 voitures à chevaux et 10 voitures automobiles. Avec ces chiffres, on obtient pour la dépense totale du matériel roulant dans les différents cas examinés les nombres inscrits dans la troisième colonne du tableau récapitulatif I.

3° *Bâtiments, usines et dépôts.* — Dans l'évaluation de ce chapitre des dépenses, M. Charles Jean admet que le mètre carré de terrain bâti est de 100, 75, 50, 50 fr, suivant que le réseau dessert une ville de plus de 100 000 habitants, de 50 à 100 000 habitants, de moins de 50 000 habitants ou enfin des faubourgs ; pour le terrain non bâti, il admet un prix de 15, 10, 5, 5 fr par mètre carré dans chacun des cas qui viennent d'être indiqués. L'emplacement nécessaire par cheval et par voiture pouvant être facilement déduit des données fournies par les Compagnies, on peut arriver à estimer la dépense nécessitée par les bâtiments et dépôts dans les différents modes de traction. Cette dépense est indiquée dans la cinquième colonne du tableau récapitulatif.

Dans le cas de la traction par l'air comprimé, l'auteur évalue la dépense afférente à l'usine de 400 000 à 150 000 fr, suivant l'importance du réseau, et la dépense afférente à la canalisation à 50 000 fr environ dans tous les cas. Pour la traction par accumulateurs, le prix de l'usine est évalué de 400 000 à 96 000 fr. Pour la traction électrique par trôlet aérien, souterrain ou au niveau du sol, l'usine est évaluée à un prix variant de 385 à 224 000 fr.

Les chiffres du tableau résument les dépenses totales de premier établissement pour les divers systèmes de traction envisagés ; il convient de remarquer que ces chiffres ne tiennent pas compte des frais de constitution et d'apport, lesquels peuvent atteindre 10 et même 15 p. 100 du prix global.

II. Dépenses d'exploitation. — 1° *Entretien et renouvellement du matériel et de la voie.* — En admettant une période d'amortissement de 6 ans pour la cavalerie, 10 ans pour le matériel roulant, 15 ans pour le matériel fixe et 20 ans pour les voies, on trouve que les annuités d'amortissement, calculées au taux de 5 p. 100, sont pour ces différents chapitres de 12,70 fr ; 7,90 fr ; 4,60 fr ; 3 fr p. 100 fr.

2° *Intérêt et amortissement du capital.* — En admettant une concession de 50 ans, la somme annuelle à prélever pour la rémunération et l'amortissement du capital est de 5,5 p. 100 de ce capital, y compris l'intérêt simple à 5 p. 100 des sommes engagées.

3° *Dépenses d'exploitation proprement dites.* — Des nombreux documents qu'il a consultés et en mettant à part les réseaux parisiens, l'auteur conclut que le prix de revient du kilomètre-voiture ressort, pour la traction animale, à 0,60 fr dans une ville de plus de 100 000 habitants, 0,475 fr dans une ville de 50 000 à 100 000 habitants, 0,40 fr dans une ville de moins de 50 000 habitants et enfin 0,38 fr sur un réseau suburbain ou interurbain. Mais ces chiffres ne tiennent pas compte d'un élément des plus importants : les dépenses exceptionnelles de renouvellement de la cavalerie par suite d'épidémie ; aussi faut-il majorer de 10 p. 100 au moins, et peut-être de 20 p. 100, les chiffres précédents et adopter ceux de 0,72 fr, 0,62 fr, 0,48 fr et 0,45 fr pour la dépense par kilomètre-voiture.

Les dépenses par kilomètre-voiture dans le cas de la traction par le système Rowan seraient, d'après les chiffres fournis par les tramways de Tours à Vouvray, les tramways bretons, les tramways de Lyon à Marseille, de 0,60 fr, 0,50 fr, 0,43 fr, 0,43 fr, suivant l'hypothèse faite sur l'importance du réseau.

Pour la traction par le système Serpolet, on aurait 0,70 fr, 0,63 fr, 0,55 fr et 0,55 fr par kilomètre-voiture.

Pour la traction à l'air comprimé, les chiffres déduits des données fournies par les chemins de fer Nogentais, les tramways de Saint-Maur et les tramways de Nantes, conduisent à admettre par kilomètre-voiture 0,76 fr sur un grand réseau, 0,66 fr sur un moyen réseau et 0,56 fr sur un petit réseau.

Le prix de revient par kilomètre-voiture de la traction par le système Lamme et Franck paraît osciller entre 0,40 et 0,50 fr, sauf à Paris, où il a atteint 0,75 fr.

Les frais de traction par accumulateurs varient de 0,30 fr à 0,40 fr par kilomètre-voiture, suivant le poids de la voiture, sur les lignes de la Compagnie des Tramways de Paris et des Tramways de la Seine. L'ensemble des autres frais d'exploitation proprement dite peuvent être évalués de 0,30 fr à 0,50 fr. On arrive ainsi aux prix de 0,90 fr, 0,70 fr, 0,60 fr et 0,60 fr pour les différents cas envisagés.

Des nombreuses données que l'on possède maintenant sur la traction électrique par fil aérien, on obtient 0,50 fr, 0,45 fr, 0,40 fr et 0,35 fr par kilomètre-voiture. Des résultats obtenus sur le tronçon de ligne électrique à conducteur souterrain de la ligne Bastille-Charenton, il semble que le prix de revient de la voiture-kilomètre serait de 0,36 fr à 0,59 fr. Pour le système Claret-Vuilleumier, ce prix serait de 0,667 fr. Enfin, pour le système Diatto, on peut admettre un chiffre voisin du précédent, 0,65 fr.

Connaissant le prix de revient du kilomètre-voiture, il est facile d'évaluer les dépenses d'exploitation proprement dite d'après les nombres de voitures-kilomètre par an. En admettant une fréquence moyenne de 12 départs par heure, dans chaque sens, dans les villes de plus de 100 000 habitants, de 7,5 départs par heure dans les villes de 50 000 à 100 000 habitants, de 4 départs dans les villes plus petites et enfin de 3 départs sur les réseaux suburbains, on trouve pour une ligne de 10 km et une durée de travail de 15 heures en moyenne dans le premier cas et de 14 heures en moyenne dans les autres : 1 095 000 km-v, 767 000 km-v, 409 000 km-v et 307 000 km-v. De ces chiffres, on déduit pour les dépenses d'exploitation proprement dite avec les chiffres considérés, les valeurs inscrites dans le tableau suivant où les colonnes marquées par les lettres A, B, C et D correspondent respectivement aux quatre cas envisagés dans le tableau I.

Dépenses de l'exploitation proprement dite.

	A	B	C	D
	Fr.			
Animale	788 000	437 000	200 000	138 000
Rowan.	602 000	384 000	176 000	132 000
Serpollet.	767 000	483 000	225 000	169 000
Air comprimé . .	832 000	506 000	229 000	172 000
Frank	548 000	345 000	164 000	123 000
A accumulateurs .	985 000	575 000	245 000	184 000
A fil aérien . . .	547 000	345 000	164 000	107 000
A caniveau. . . .	646 000	384 000	184 000	»
Claret-Vuilleumier	712 000	460 000	225 000	»
Diatto.	712 000	460 000	225 000	»

Quant aux dépenses provenant de l'amortissement du matériel et de la voie, ainsi que de l'in-

térêt et de l'amortissement du capital de premier établissement, elles sont résumées dans le tableau suivant :

Charges générales de l'exploitation.

	A	B	C	D
	Fr.			
Animale	345 000	190 000	53 000	35 000
Rowan.	362 000	220 000	81 000	42 000
Serpollet.	305 000	145 000	45 000	23 000
Air comprimé . .	370 000	227 000	81 000	54 000
Francq.	429 000	245 000	86 000	55 000
A accumulateurs .	365 000	220 000	83 000	53 000
A fil aérien. . . .	366 000	238 000	109 000	73 000
A caniveau. . . .	511 000	377 000	175 000	»
Claret-Vuilleumier	391 000	262 000	116 000	»
Diatto.	399 000	271 000	120 000	»

Additionnant les résultats donnés dans les deux tableaux précédents, on en déduit les charges totales annuelles de l'exploitation :

Charges totales de l'exploitation.

	A	B	C	D
	Fr.			
Animale.	1 133 000	627 000	253 000	173 000
Rowan	1 019 000	604 000	257 000	174 000
Serpollet	1 072 000	628 000	250 000	192 000
Air comprimé . .	1 202 000	733 000	310 000	226 000
Frank.	977 000	590 000	250 000	178 000
A accumulateurs.	1 359 000	795 000	328 000	157 000
A fil aérien . . .	913 000	583 000	273 000	180 000
A caniveau . . .	1 164 000	761 000	359 000	»
Claret-Villeumier	1 103 000	723 000	341 000	»
Diatto	1 111 000	731 000	345 000	»

Conclusions. — Les points principaux que font ressortir ces chiffres sont, d'après l'auteur, les suivants :

« 1° Dans une grande ville, le mode de traction le plus économique est la traction électrique par fil aérien, puis viennent la traction Frank, la traction Rowan, la traction Serpollet, etc. Mais il y a lieu de remarquer que la traction animale est encore plus économique que les systèmes de traction à caniveau, à air comprimé et à accumulateurs.

» 2° Dans une ville de 50 000 à 100 000 habitants, les résultats sont sensiblement les mêmes. On voit toutefois que c'est la traction électrique par accumulateurs qui coûte le plus cher.

» 3° Dans une petite ville, la traction Serpollet et la traction Frank sont les plus économiques, et la traction par fil aérien ne vient qu'en cinquième lieu, après la traction animale et la traction Rowan.

» 4° Pour une exploitation suburbaine, la traction animale reste la plus économique ; mais aussitôt après viennent, sensiblement sur la même ligne, la traction Rowan, la traction Frank et la traction par fil aérien.

» Les conclusions qui se ressentent de la brutalité des chiffres sont évidemment un peu trop absolues. Elles constituent plutôt des indications de principe dont on s'inspirera dans l'étude d'un avant-projet, sans oublier de faire intervenir les circonstances locales (tracé, trafic), qui forment le facteur le plus important dans la recherche du mode de traction à adopter pour une ligne de tramways ».

Nous croyons également comme l'auteur que ces conclusions sont trop absolues, car il est démontré depuis longtemps que la traction électrique avec conducteur aérien est sans aucun doute la plus économique dans tous les cas et il est très probable que les autres systèmes de traction électrique sont, lorsqu'on a à assurer un trafic intense, comme à Paris, plus économiques que les divers modes de traction mécanique non électrique. J. R.

Essais de traction électrique par accumulateurs, par **F. Krizik.** *Zeitschrift für Elektrotechnik*, t. XVII, p. 557, 29 octobre 1899.

M. Krizik a obtenu, en 1897, l'autorisation de faire des expériences à ce sujet sur la voie locale de Prague à Dobris, en Bohême, et il nous donne les renseignements suivants dans la *Zeitschrift für Elektrotechnik*.

La voiture soumise aux essais fut une voiture à accumulateurs. La charge était faite par une machine à vapeur de 15 chevaux actionnant un atelier de réparation de la station de Nusle. La dynamo de 300 à 400 volts chargeait les accumulateurs en deux séries. Le courant était amené à un coffret situé en dehors du bâtiment et muni de deux prises de courant. La charge s'effectuait d'une façon fort irrégulière suivant l'excédent de puissance fourni par le moteur. La

capacité mesurée de la batterie fut de 20 ampères-heure.

La voiture était entièrement analogue aux voitures de tramways. La distance entre essieux était de 3,50 m, le freinage se faisait à main et électriquement. Les éléments étaient placés sous les banquettes, dans un espace hermétiquement séparé de l'intérieur de la voiture et ventilé latéralement. La longueur totale de la voiture était de 7 m ; celle de la caisse, 4,83 m ; la largeur, 2,36 m ; la hauteur, 3,35 m ; le diamètre des roues, 0,85 m. Le nombre total des places s'élevait à 40. L'équipement électrique se composait de deux moteurs de 25 à 35 chevaux et de 2 contrôleurs, de 2 interrupteurs, de rhéostats et de coupe-circuits. Le poids total à vide était de 11,5 tonnes.

La batterie, du système Tudor, comprend 12 grandes caisses de bois et 4 petites ; les premières renferment chacune 20 éléments, les dernières 10, soit au total 280 éléments, chacun comprenant une positive et deux négatives de 4,3 dm^2 par côté. Les bacs sont en ébonite.

La capacité normale était de 20 ampères-heure pour un régime de 20 ampères, l'intensité maxima étant de 50 ampères. Dans une côte de 20 p. 1000 elle s'élevait à 60 ampères, mais pendant un temps fort court, de sorte que la batterie n'était pas endommagée.

Les deux moteurs de Krizik avaient chacun une puissance de 25 à 35 chevaux ; ils étaient tétrapolaires, à excitation en série. L'induit attaque la roue par l'intermédiaire d'un système d'engrenages diminuant la vitesse dans le rapport 1 : 5. La vitesse à charge normale est de 550 tours : m. Le diagramme de la figure 1 donne tous les renseignements sur ce moteur qui, même dans la côte de 20 p. 1000 n'a jamais dépassé la pleine charge.

Le réglage de la vitesse se fait par la mise en série ou en parallèle des moteurs. Le conducteur a en main le levier du contrôleur qui freine à l'extrémité de sa course.

Après quelques épreuves sur le segment de ligne Nusle-Modran (12 km) fraction qui pouvait être parcourue avec une seule charge aller et retour, on décida de pousser l'expérience plus loin et de parcourir un plus long espace. A cet effet on installa une seconde station de charge à la station Königsaal. Une locomobile de 12 chevaux commandait cette fois la dynamo, et la charge s'effectuait sous 300-400 volts avec une intensité de 42 ampères et une durée de 25 à 30 minutes, durée que l'on pourrait réduire sans inconvénient.

Les essais ont été faits sur le parcours de Nusle à Mechenic, parcours assez accidenté, car il y a des rampes de 20 à 22 p. 1000, avec des courbes de 175 m de rayon. Dans les essais précédents, les mesures avaient été faites de la façon suivante : tous les 100 mètres on relevait l'intensité et la tension ainsi que le temps en secondes. Ces chiffres servirent à établir un

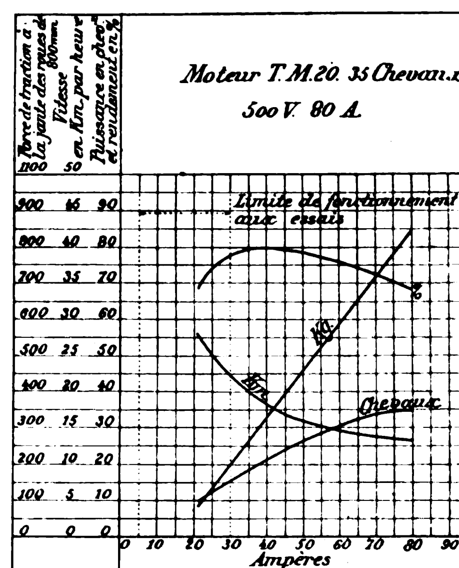


Fig. 1.

diagramme permettant de juger le travail des moteurs et accumulateurs ainsi que les variations de la vitesse. Ces diagrammes servirent à régler le débit de façon à ce qu'avec une charge, la batterie fasse le trajet maximum. Dans les essais entre Nusle et Mechenic on fit des mesures plus précises avec un ampèremètre Weston, un voltmètre Simens et un compteur de Thomson. Les résultats de ces essais sont reproduits sur le tableau II ci-contre :

La plus haute charge est celle de la ligne 9, soit $58 \times 437 = 25{,}346$ kilomètres-heure pour les deux moteurs, soit une puissance de 12,673 kilowatts-heure par moteur avec 29 ampères. Le rendement à cette puissance étant de 77 p. 100, nous avons 13,2 chevaux par moteur. Donc à la

	KILOMÉTRAGE	PENTE par 1000	AMPÈRES	WATTS	WATTS-H.	TEMPS de parcours des 100 mètres	VITESSE en m. par sec.	VITESSE en km par h.	OBSERVATIONS
1	2,6 — 2,7	20	56,5	487	860	16	6	31,6	R = 175
2	6,4 — 6,5	0	33	510	300	11	9	32,4	Ligne droite
3	10,2 —10,3	1	32	505	300	11	9	32,4	»
4	39,7 —39,6	0	32	500	300	11	9	32,4	»
5	38,4 —38,5	0	31,5	530	280	9	11	39,6	»
6	10,5 —10	1	34,5	525	300	11	9	32,4	»
7	7,9 — 7,8	10	42	505	460	12,5	8	28,8	»
8	7,5 — 7,4	10	41	502	500	13	7,7	27,7	»
9	4,3 — 4,4	20	58	437	840	21	5	18	»

plus forte montée chaque moteur n'a travaillé qu'à mi-charge.

Appliquons à la colonne 7 la formule bien connue pour calculer l'intensité nécessaire à actionner une voiture

$$I = \frac{9,81 . VT(\alpha + \beta)}{E\eta},$$

V = la vitesse en mètres par seconde ; T = le poids en tonnes : α = la résistance au roulement (4 à 5 kg par tonne) ; β = la pente en millièmes ; E = la tension en volts ; I = l'intensité en ampères ; η = le rendement. Nous avons ici, $V = 8$; $T = 12,6$; $\alpha = 5$; $\beta = 10$; $E = 505$; $\eta = 0,7$, on trouve $I = 42$ ampères. En appliquant le même calcul à la colonne 1 on trouve $I = 50$ ampères contre 56 ampères mesurés, différence qui est due à la résistance en courbe.

Le chiffre 33,7 watts-heure par tonne-kilomètre, qui a été obtenu pourrait être sensiblement abaissé avec une meilleure proportion des divers éléments de la voiture. E. B.

DIVERS

Avertisseur électrique d'incendie, système Keyser. *Die Elektrizitæt*, t. VIII, p. 606, 23 déc. 1899.

Le principe général des avertisseurs d'incendie consiste en la fermeture d'un circuit pour une température déterminée ; le circuit met en

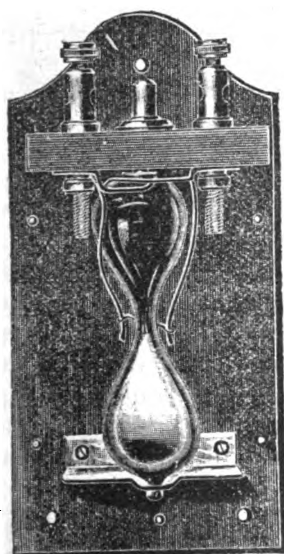


Fig. 1. — Avertisseur d'incendie. Système Keyser.

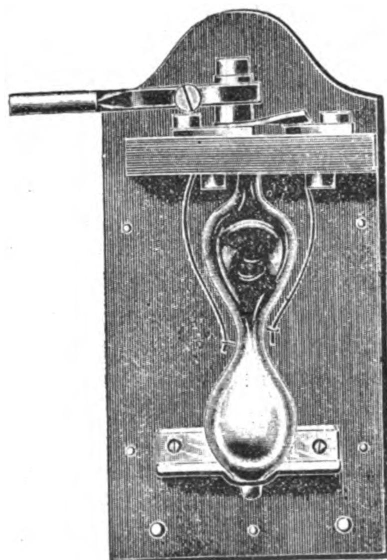


Fig. 2. Avertisseur Keyser.

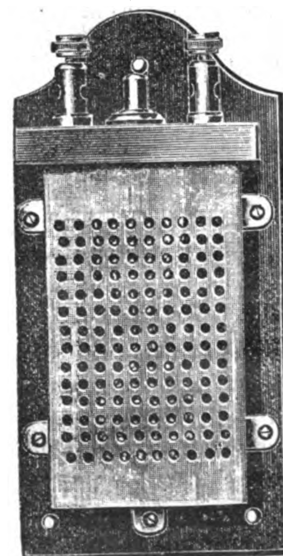


Fig. 3. — Vue de l'appareil avec enveloppe protectrice.

mouvement une cloche disposée dans un endroit convenable. L'appareil Keyser est constitué par une pièce de verre ayant la forme d'une double poire, tout à fait analogue aux petits

sabliers (fig. 1). La partie inférieure est remplie de mercure, dans l'étranglement du milieu deux fils de platine sont soudés dans la paroi de verre, ces fils communiquent avec les fils d'un circuit de sonnerie.

Lorsque la température du milieu ambiant s'élève, le mercure se dilate et met les deux pointes de platine en court-circuit, actionnant ainsi la cloche. L'appareil peut être réglé pour n'importe quel degré de température et modifié en ajoutant ou retirant une petite quantité de mercure ; on le règle en le plaçant dans un vase contenant de l'eau à la température choisie ; habituellement il est établi pour la température de 35°.

Ce système présente l'avantage sur ceux où l'on se sert de pétrole que le mercure n'est pas altéré par l'action de l'air et que l'appareil peut resservir, même après avoir fonctionné, sans qu'il soit nécessaire de rien y changer. Un bouton de pression placé au-dessus de l'instrument permet de s'assurer de son bon fonctionnement. G. G.

Contact à mercure L. Sell pour pendule électrique. Brevet anglais n° 12 490, déposé par A.-G. Brookes le 15 juin 1899, accepté le 29 juillet 1899, (4 figures).

Le contact à mercure de L. Sell, pour pendule entretenu électriquement, se compose d'un tube de verre courbé en rectangle et muni de deux ampoules *a*, figure 1. Deux fils de platine *b* et *c* plongent dans le mercure contenu dans les ampoules, l'un *b*, jusqu'au fond, l'autre *c*, effleure seulement le niveau du mercure quand la tige P du pendule est verticale et au repos. Des boudins de fil souple relient les fils de platine au système électromagnétique destiné à entretenir le mouvement du pendule.

Quand le pendule oscille, le mercure prend, dans le tube recourbé, un mouvement oscillatoire de même période mais retardé en phase sur le mouvement du pendule, de sorte que la fermeture du circuit, qui s'effectue au moment où le mercure rencontre le fil *c*, n'a pas lieu à l'instant où le pendule passe par la verticale. Comme ce retard dépend de l'amplitude de l'oscillation, la force magnétique qui est exercée sur le pendule varie avec l'amplitude et on peut trouver là un moyen de régler cette amplitude et de la maintenir constante.

Ce système permet en outre d'assurer le départ automatique du pendule puisque, celui-ci étant au repos, il suffit de fermer le circuit extérieur pour que le courant passe par le mercure

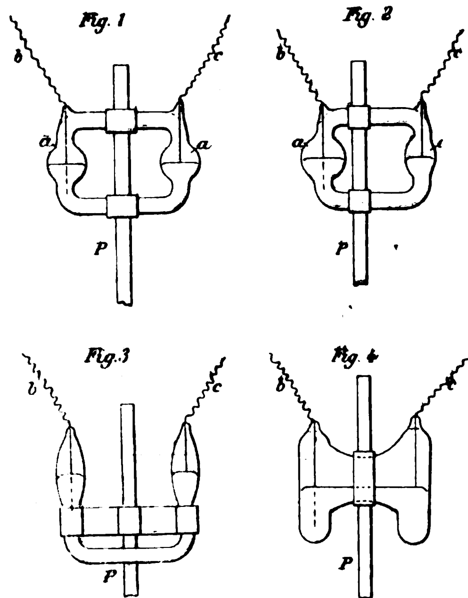


Fig. 1 à 4. — Contacts à mercure pour pendule électrique.

et par l'appareil électromagnétique, lequel agit aussitôt ; cet avantage permet d'employer la disposition pour les compteurs électriques à pendule.

Les figures 2, 3 et 4, montrent différentes formes du réservoir à mercure. H. A.

Phasemètre Tuma et Kaldegg, brevet anglais n° 23820, déposé le 11 novembre 1898, accepté le 18 mars 1899 (5 figures).

Le phasemètre de Josef Tuma et Max Raph Kaldegg se compose de deux bobines sphériques A_1 et A_2, emboitées l'une dans l'autre, et d'une bobine mobile, portée au centre des deux autres, par une suspension élastique ou par des pivots.

Les bobines A_1 et A_2 ont leurs axes horizontaux et fixés à 90° l'un de l'autre. La bobine A_1, qui reçoit le courant total, est formée de gros fil. La bobine A_2 comporte deux enroulements superposés : le premier, a_2 en fil fin ; le second a_3 en gros fil. La bobine S est portée par un axe vertical muni d'un index Z ; ce dernier se meut devant un cercle divisé K. Les extrémités

du fil de S sont reliées à l'extérieur au moyen de pointes qui plongent dans des godets à mercure fixes. Les connexions, dont on voit le schéma figure 4, sont réalisées au moyen de bornes disposées sur le socle de l'appareil.

Le courant total traverse le circuit a_1 de la bobine A_1, tandis que le circuit a_2 de la bobine A_2 est parcouru par le courant secondaire d'un petit transformateur sans fer p_1 p_2 ; la résultante de ces deux actions produit au centre de la sphère un champ tournant. Pour que ce champ conserve une valeur uniforme dans toutes les directions, avec un courant sinusoïdal, il faut que la composante de A_2 soit en retard de 90° exactement sur celle de A_1. On obtient ce résultat à l'aide de l'enroulement en gros fil a_3 ; celui-ci est placé en dérivation sur une très faible résistance W (0,01 ohm), intercalée dans le circuit principal, de sorte que a_3 reçoit un courant en phase avec le courant de a_1. A l'aide de la résistance W_r placée dans le circuit secondaire du transformateur, on règle

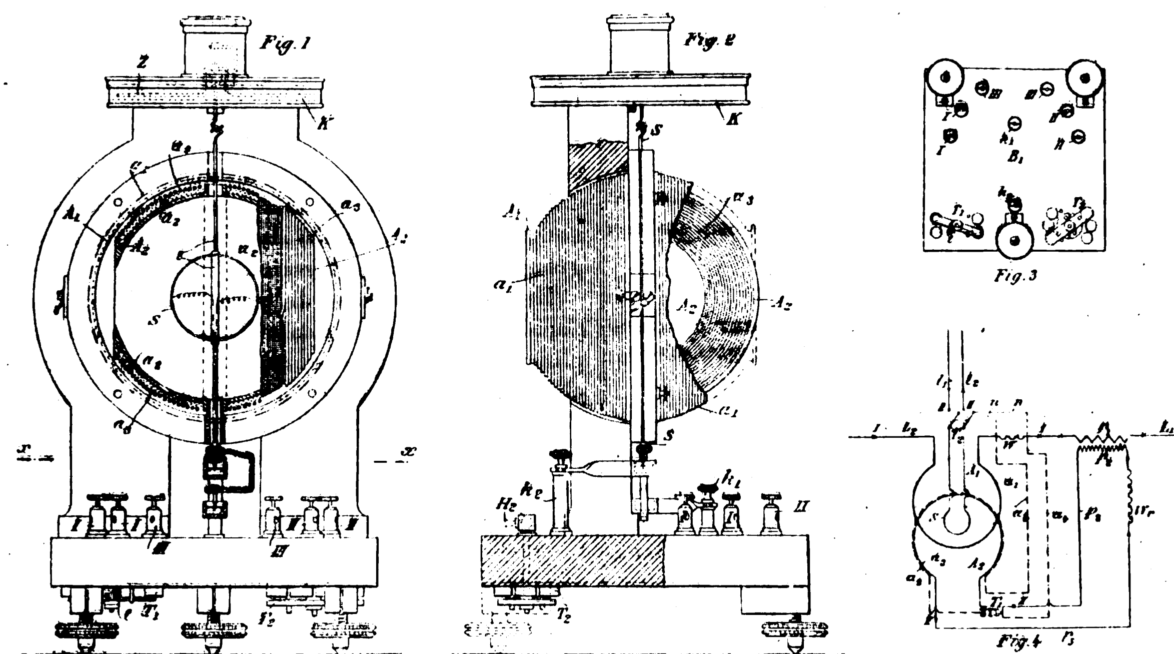


Fig. 1 à 4. — Phasemètre Tuma et Kaldegg. 1, vue de face ; 2, vue de côté ; 3, plan du socle ; 4, schéma.

le rapport des courants a_2 et a_3 de manière à ce que leur résultante donne un champ alternatif exactement décalé de 90° sur celui créé dans A_1 par le courant principal. Pour arriver à ce réglage parfait, la bobine mobile S est, elle aussi, mise en dérivation sur W au moyen du commutateur double T_2 ; recevant ainsi un courant en phase avec celui de A_1, elle doit se placer parallèlement à cette bobine et la fermeture ou l'ouverture simultanées des deux circuits a_2 et a_3 au moyen de la clef T_1 ne doit pas donner d'impulsion à cette bobine ; s'il y en avait, il faudrait retoucher la résistance W_r. La position que prend dans ce cas la bobine mobile est le zéro de la graduation.

Tout étant réglé, si au moyen du commutateur T_2 on place S sur le second circuit $l_1 l_2$, cette bobine dévie aussitôt proportionnellement à la différence de phase qui existe entre les deux circuits I et l.

Quand la bobine mobile est suspendue par un ressort de torsion, l'angle dont il faut tordre le ressort pour ramener la bobine au zéro est proportionnel à la différence de phase. Si les deux courants en I et l sont l'un proportionnel à E, l'autre proportionnel à I, l'instrument indique directement l'angle φ de la relation connue

$$EI \cos \varphi.$$

H. A.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

ACADÉMIE DES SCIENCES

Séance du 9 avril 1900 (suite).

Sur la préparation au four électrique d'un séléniure de manganèse cristallisé, par **Fonzes-Diacon**. *Comptes rendus*, t. CXXX, p. 1 025-1 026.

L'auteur a obtenu un séléniure cristallisé Mn Se (déjà obtenu à l'état amorphe par Fabre en 1886), en employant divers procédés et, en particulier, en chauffant au four électrique (80 volts, 140 ampères) une molécule de séléniate de manganèse pour quatre de charbon de sucre, ou encore en chauffant dans les mêmes conditions du séléniure de manganèse précipité.

Réaction du chlorure d'amyle sur le carbure de calcium, par **P. Lefebvre**. *Comptes rendus*, t. CXXX, p. 1 036-1 039.

En faisant passer des vapeurs de chlorure d'amyle sur du carbure de calcium chauffé au rouge naissant, l'auteur a obtenu des liquides qui, soumis à la distillation fractionnée, se sont nettement séparés en produits non chlorés bouillant au-dessous de 45° et qui sont un mélange de deux amylènes, et en produits chlorés bouillant au-dessus de 75° et qui sont un mélange de chlorure d'amyle.

Dosage électrolytique du plomb dans le sulfate et le chromate. Application à l'analyse des verres plombeux et des chromates de plomb, par **C. Marie**, *Comptes rendus*, p. 1032-1033.

I. — Les deux principales méthodes de séparation du plomb, fondées sur sa précipitation, soit par l'hydrogène sulfuré, soit par l'acide sulfurique en présence d'alcool, l'amènent à une forme, sulfure ou sulfate, qui ne se prête pas au dosage électrolytique, à cause de son insolubilité dans l'acide azotique étendu. L'acide azotique transformant facilement le sulfure en sulfate, l'auteur ne considère que ce dernier sel.

Pour effectuer la dissolution du sulfate dans l'acide azotique, il s'est arrêté après quelques essais à l'emploi de l'azotate d'ammoniaque, réactif qui n'introduit aucune substance fixe et peut être facilement éliminé dans les opérations analytiques ultérieures [1].

Cette méthode permet d'appliquer l'électrolyse à l'analyse des verres à base de plomb. Pour cela, il suffit d'attaquer le verre finement pulvérisé par l'acide fluorhydrique additionné de la quantité d'acide sulfurique nécessaire pour téansformer les bases en sulfates. Un excès d'acide sulfurique un peu considérable nuit, en effet, à la dissolution du sulfate de plomb, dissolution qui se fait comme il est dit plus haut. Après l'électrolyse, on peut procéder immédiatement au dosage des métaux alcalins si le produit analysé est un véritable cristal, c'est-à-dire ne contient aucun métal du groupe du fer ou du groupe des alcalino-terreux.

II. — Le chromate de plomb se dissout dans l'acide azotique et l'azotate d'ammoniaque encore plus facilement que le sulfate. Pour 0,05 gr de chromate, 2 gr d'azotate suffisent ; quant à l'acide azotique, il suffit que la liqueur finale en contienne 10 p. 100. L'électrolyse s'effectue exactement comme dans le cas du sulfate ; l'acide chromique est complètement ramené pendant l'opération à l'état de sel de sesquioxyde précipitable directement par l'ammoniaque.

L'auteur pense que par la simplicité des opérations analytiques et l'exactitude des résultats qu'elle fournit cette méthode facilitera l'analyse de produits industriels importants, les silicates et les chromates à base de plomb.

---

[1] Cette dissolution se fait de la manière suivante :

« Le sulfate de plomb est placé dans le verre de Bohème où se fera l'électrolyse, puis attaqué par l'acide azotique auquel peu à peu on ajoute des cristaux d'azotate d'ammoniaque. Quand le sulfate est complètement disparu, on étend avec de l'eau chaude, puis on électrolyse dans les conditions ordinaires (Riban, *Traité d'Analyse chimique quantitative par électrolyse*, p. 153), en maintenant la température à 60-70°. Les quantités de réactif nécessaires sont les suivantes : pour 0,3 gr de sulfate il faut environ 0,05 gr d'azotate d'ammoniaque ; quant à l'acide azotique, sa quantité est déterminée par cette condition qu'après dilution le liquide doit contenir environ 10 p. 100 d'acide libre. En trois heures, avec une électrode en platine dépoli d'une surface de 90 cm² et un courant de 0,3 ampère on dépose facilement 0,4 gr de bioxyde de plomb.

Séance du 17 avril.

Accroissements de resistance des radio-conducteurs, par **Edouard Branly**. *Comptes rendus*, t. CXXX, p. 1068-1071.

En 1891 l'auteur a reconnu que certains radio-conducteurs éprouvent une augmentation de résistance (¹) sous les influences électriques qui déterminent, en général, une diminution de résistance de ces appareils. Cet accroissement de résistance, observé également par divers physiciens dans ces derniers mois, ayant été regardé comme dû à des ruptures ou à des modifications chimiques des corps constituant les radio-conducteurs, M. Branly a fait de nouvelles expériences; leurs résultats conduisent l'auteur à penser que l'accroissement de résistance dépend, comme la diminution, d'un *état physique des couches isolantes interposées*.

Dans ces expériences le radio-conducteur fait partie d'un circuit dérivé du circuit principal d'un élément Daniell de telle façon que la différence de potentiel entre ses extrémités ne soit que de un millième de volt (au lieu de 1,5 volt environ que l'on a lorsqu'on dispose le radio-conducteur dans le circuit direct d'un élément Leclanché). La résistance du radio-conducteur est mesurée en substituant à l'appareil une résistance réglable que l'on modifie jusqu'à ce que le galvanomètre intercalé dans le circuit indique la même déviation; on évite ainsi les extra-courants à force électromotrice variable de la méthode du pont de Wheatstone. La variation de résistance du radio-conducteur est produite soit par une étincelle éclatant à distance, soit en introduisant le radio-conducteur pendant un temps très court (30 secondes environ) dans le circuit d'une pile d'un assez grand nombre d'éléments contenant une colonne liquide (eau distillée et sulfate de zinc entre des électrodes de zinc) de 3 mégohms de résistance.

M. Branly cite dans sa note les résultats d'essais faits sur un radio-conducteur à limaille d'or et sur un radio-conducteur à vis et à peroxyde de plomb (²).

M. Branly rappelle que les expériences qu'il

(¹) *Bulletin de la Société internationale des Électriciens*, mai 1891. — *Bulletin des séances de la Société de Physique*, avril 1891. — *La Lumière Électrique*, mai et juin 1891

(²) « I. *Substances à résistances décroissantes.* — 1° Tube à limaille d'or *pur* entre deux tiges d'or pur (limaille tamisée suivant mes anciennes indications, 200 au tamis). La limaille est enfermée dans un tube bien calibré de 1,3 mm de diamètre: à l'aide d'une vice micrométrique, le serrage est poussé jusqu'au point où une conductibilité nette apparait. La résistance initiale a une valeur dont on est maitre par le serrage.

Résistance avant toute action électrique. . 400 ohms.

» On fait passer pendant trente secondes le courant d'une pile à travers le radio-conducteur et la colonne liquide de 3 000 000 d'ohms.

Avec une pile de.	8 volts	résistance.	160 ohms
»	16 »	»	81 »
»	80 »	»	39 »
»	160 »	»	25 »

» On fait ensuite agir à distance l'étincelle d'une petite machine de Wimshurst. En rapprochant graduellement l'étincelle, la résistance finit par tomber à 6,5 ohms.

» L'emploi successif des forces électromotrices de piles et des forces électromotrices induites par l'étincelle donne dans une certaine mesure une idée de l'ordre de grandeur de la force électromotrice de ces dernières.

» En touchant enfin le tube à limaille avec un des deux pôles de la machine, la résistance *augmente* et elle devient graduellement supérieure à 10 000 ohms (limite de la mesure permise par la sensibilité du galvanomètre).

» 2° Tube à limaille d'or précipité (préparé par M. Dervin) entre deux électrodes d'or pur.

Résistance initiale	1210 ohms
8 volts.	1180 »
16 »	1030 »
40 »	140 »
160 »	40 »

» Étincelles de Wimshurst à distances décroissantes: 25, puis 15, puis 11 ohms. En touchant avec un pôle de la machine, la résistance *augmente* et devient graduellement supérieure à 10 000 ohms.

» La conductibilité reparait en faisant passer un instant le courant d'une pile de 40 volts.

» Les expériences du premier groupe peuvent être multipliées; j'ai choisi celles qui se rapportent à la limaille d'or pur entre deux électrodes d'or, pour répondre de nouveau à l'opinion que l'or entre deux électrodes d'or ne se comporte pas comme les autres métaux et que l'air interposé entre les grains métalliques a besoin d'être renforcé par une couche d'oxyde.

» II. *Substances à résistances croissantes.* — 1° Tube à vis renfermant du peroxyde de plomb. Comme pour les autres poudres métalliques, la résistance du peroxyde de plomb augmente par le choc avant toute action électrique.

» On rapproche les deux électrodes pour diminuer la résistance.

Résistance initiale	220 ohms
Avec la pile de 160 volts. .	300 »
» 320 » . .	430 »
» 480 » . .	1600 »

a faites en 1891 avec des verres platinés, accusent des alternatives de conductibilité et de résistance incompatibles avec l'hypothèse d'une rupture de la couche métallique.

Il indique en terminant un procédé conduisant à la préparation aisée de couches métalliques à résistances constamment croissantes : une feuille d'or battu extrêmement mince est collée sur verre avec de la gomme arabique ; on la frotte ensuite avec le doigt bien sec, de façon à lui faire acquérir une résistance de 50 ohms à 60 ohms par centimètre de longueur, ce qui est facile. On obtient ainsi une couche dont la résistance ne diminue plus, mais augmente notablement par l'action de l'étincelle à distance.

L'inductance et les oscillations électrostatiques, par **P. de Heen.** *Comptes rendus*, t. CXXX, p. 1071-1072.

Diverses expériences conduisent M. de Heen à penser que les charges électrostatiques agissent à distance non seulement par *influence électrique*, mais encore en vertu d'un autre genre de phénomène analogue à l'induction électrodynamique et qu'il appelle *inductance*. Les lois régissant ce phénomène seraient :

Si l'on approche un conducteur chargé d'un autre conducteur, ou encore si l'on charge ou si l'on accroît le potentiel du premier conducteur, le deuxième conducteur se charge d'électricité de même nom ; le contraire a lieu si l'on exécute les opérations inverses.

Un conducteur mis en mouvement dans le voisinage d'un deuxième conducteur tend à se déplacer en sens inverse du mouvement qu'on lui communique.

Parmi les multiples expériences qui l'ont amené à ces lois, l'auteur cite les suivantes : un électroscope à feuilles d'or *a son conducteur en communication avec la terre.* Dans son voisinage et à une distance relativement faible on place le conducteur positif d'une bouteille de Leyde ; le phénomène de l'influence se manifeste comme à l'ordinaire par un écartement des feuilles d'or qui sont alors chargées *négativement.* En second lieu, l'électroscope étant déchargé et la bouteille de Leyde étant à une grande distance, on rapproche brusquement celle-ci de l'instrument jusqu'à la distance qui correspondait à la seconde expérience : les feuilles d'or divergent d'une *quantité incomparablement plus grande* et elles sont chargées *positivement;* il y a inductance. En troisième lieu reprenons le premier dispositif et écartons la bouteille lentement ; il arrivera un moment où l'*influence* cessera d'être sensible et les feuilles d'or entreront en contact ; mais si l'on poursuit le mouvement d'éloignement, l'électroscope s'électrise *négativement* par *inductance* et les feuilles s'écartent de nouveau.

« Il résulte de ceci, ajoute M. de Heen, que si nous déterminons une oscillation de potentiel, cette oscillation se transmettra à distance, très vraisemblablement par *inductance* et non par *influence*, et si l'on vient à mettre *un* des pôles d'une forte bobine activée par un interrupteur de Wehnelt en communication avec un fil de cuivre tendu ou avec un carré de grosse toile métallique, les oscillations électromagnétiques développées sont capables d'illuminer un tube à vide enfermé dans un étui en carton épais. Un radio-conducteur très sensible permet de reconnaître l'absence de l'oscillation électromagnétique. »

Remarques à propos d'une Note récente de M. G. Le Bon, par **P. Curie.** *Comptes rendus*, t. CXXX, p. 1072-1073.

Dans sa Note, dont une courte analyse a été donnée ici (¹) M. Le Bon décrivait divers faits observés par lui et qu'il considérait comme nouveaux. M. Curie fait voir qu'ils étaient déjà tous connus :

« M. Le Bon, dit M. Curie, a remarqué que le bromure de baryum radifère lumineux, préparé à l'usine de List (Hanovre) sur les indications de M. Giesel a la propriété de perdre sa luminosité quand on le chauffe et de la reprendre

---

» 2° Même tube renfermant du peroxyde de plomb soumis à un serrage initial différent.

Résistance initiale			630 ohms
Pile de	8	volts	650 »
»	16	»	685 »
»	40	»	760 »
»	70	»	850 »
»	120	»	1090 »
»	160	»	2070 »

» En faisant éclater une étincelle de la machine statique à une distance décroissante, on arrive à 6000 ohms. En touchant le tube avec un pôle de la machine, on dépasse 10 000 ohms. »

(¹) *L'Éclair. Élect.*, t. XXIII, p. 75, 14 avril 1900.

par refroidissement. Cette propriété a déjà été signalée par M. Giesel lui-même [1].

Ont été de même l'objet de publications antérieures de M. Becquerel, de M. Giesel, de Mme Curie et de moi :

« La propriété des sels de baryum lumineux de perdre en partie leur luminosité à l'humidité [2], les propriétés du phosphore humide [3], l'émission possible de matière par les corps radioactifs [4], l'absence de polarisation des rayons du radium [5].

» M. Le Bon parle, dans sa Note, de la *lumière noire;* les rayons qu'il désigne ainsi et qu'il a utilisés dans certaines expériences [6] sont des rayons calorifiques infra-rouges. Graham Bell a montré en 1880 que l'ébonite est transparente pour ces rayons [7]. »

Séance du 23 Avril 1900

Signalons trois réclamations de priorité relatives à des notes antérieures. Dans l'une M. G. Le Bon, répondant à la note de M. P. Curie (voir plus haut) dit qu'il y a trois ans déjà (*Revue Scientifique*, mai 1897) il a constaté la polarisation des radiations des corps radioactifs, à une époque où elle était universellement admise ; il ajoute que le but de sa dernière note était de montrer que les phénomènes dits de radioactivité appartiennent à un grand nombre de corps et de confirmer ainsi une assertion émise par lui trois ans auparavant, quand il écrivait (*Rev. Scient.*, mai 1897, p. 561) que « les propriétés de l'uranium ne sont qu'un cas particulier d'une loi bien générale ».

Dans les deux autres, que les *Comptes rendus* ne font que signaler, M. Tommasina répond à la réclamation de MM. Ducretet et Popoff [8], et M. Bullier à la note de M. Geelmyden [1] sur l'action réductrice du carbure de calcium [1].

([1]) *Wied. Ann.*, t. LXIX, p. 91.

([2]) Giesel, *Wied. Ann.*, t. LXIX, p. 91.

([3]) Curie, *Revue gén. des Sciences*, 31 janvier 1899.

([4]) Curie, *Comptes rendus*, 5 mars 1900 et 8 janvier 1900.

([5]) H. Becquerel, *Comptes rendus*, 27 mars 1899.

([6]) *Revue scientifique*, 11 février 1899.

([7]) *Ann. de Chim. et Phys.* 5e série, t. XXI, p. 394 et t. XXIII, p. 430.

([8]) Nous avons déjà dit (*L'Écl. Élect.*, t. XXIII, p. 108, 21 avril, 1900), que d'après une lettre qui nous a été adressée par M. Tommasina, le dispositif décrit récemment par celui-ci a été breveté par M. Galopin le 17 janvier, puis le 21 février dernier. Le brevet français de MM. Ducretet et Popoff ne date que du 22 janvier, mais le brevet pris en Russie par M. Popoff date du 26 juillet 1899. Dans ces brevets, « M. Popoff indique l'emploi des radio-conducteurs avec grenaille de charbon utilisée dans les appareils microtéléphoniques; il dit qu'il obtient de meilleurs résultats, *pour les grandes distances*, avec des radio-conducteurs à grains d'acier dur, à arêtes vives, préparés de façon à obtenir à leur surface plusieurs degrés d'oxydation ». Les expériences dont il était question dans la lettre de M. Ducretet publiée dans le numéro du 21 avril de ce journal (p. 108) ont été faites avec ces derniers radio-conducteurs.

Du fait que le brevet russe de M. Popoff date de juillet 1899, M. Ducretet conclut que la priorité en faveur de M. Popoff est évidente. Mais de son côté M. Tommasina nous écrit que dès le 14 juillet 1898 il a pris un brevet anglais (no 15 498) dans lequel se trouve indiqué l'emploi d'un récepteur téléphonique pour la réception des signaux transmis par ondes hertziennes.

Ne voulant pas nous immiscer dans des questions de priorité de brevets, toujours extrêmement délicates, nous ne pouvons que souhaiter aux inventeurs d'arriver le plus rapidement possible à une solution tout à fait pratique de la téléphonie par ondes hertziennes.

J. B.

([1]) *L'Écl. Élect.*, t. XXIII, p. 160, 23 avril 1900.

Le cycle théorique des moteurs à gaz à explosion, par **A. Witz**, *Comptes rendus*, t. CXXX, p. 1118-1119.

Dans une note récemment publiée M. Marchis [2] critiquait la théorie actuelle des moteurs à explosion. M. Witz fait à ce propos les remarques suivantes :

« Un cycle théorique doit répondre, autant qu'il est possible, à la réalité des faits; mais il est nécessaire, d'autre part, qu'il puisse servir de type et qu'il permette d'apprécier les imperfections des séries d'opérations réellement effectuées dans le cylindre des moteurs. Tel est le caractère des cycles que j'ai décrits dans mes *Études sur les moteurs à gaz* de 1883 et dans le *Traité* publié dans la suite.

» Voyons, par exemple, le cycle des moteurs à explosion. J'ai supposé expressément que la course de compression était moindre que la course de détente. Cette condition est réalisable alors même que le cycle serait effectué dans un seul cylindre, soit que les courses soient effectivement inégales, ainsi que cela a lieu dans le

([2]) *L'Écl. Élect.*, t. XXII, p. 474, 24 mars 1900.

moteur Atkinson, soit qu'un artifice basé sur un jeu de soupapes conduise au même résultat, ainsi que cela a lieu dans certains moteurs Niel, Charon, Letourbe, Heynen, etc. Un tel cycle n'est donc pas une imagination sans réalité ; les diagrammes relevés sur les moteurs Atkinson reproduisent, en effet, identiquement notre tracé théorique. Ce cycle constitue d'ailleurs un type parfait, attendu qu'il permet la *détente complète* des gaz, qu'on doit rechercher pour obtenir le rendement maximum. Il ne repose nullement sur l'hypothèse absurde de l'égalisation des pressions, que M. Marchis appelle H et H', qui supposerait une rencontre de deux adiabatiques, son rendement est indiscutablement

$$\rho = \frac{c(T-\theta) - C(t-t')}{c(T-\theta)} = 1 - \gamma \frac{t-t'}{T-\theta}.$$

» Dans la plupart des moteurs dits *à quatre temps*, suivant le cycle de Beau de Rochas ou d'Otto, les courses sont égales, et il en résulte que l'échappement des gaz commence à cette pression H' plus grande que H, et à une température plus élevée que celle qui est représentée par t' dans notre formule. Mais c'est une imperfection du cycle réel, car on perd le travail correspondant à l'aire supprimée par l'écourtement du diagramme. Cette imperfection est subie dans la pratique, mais elle ne saurait être prise comme type.

» La théorie généralement adoptée ne mérite donc pas les critiques dont elle a été l'objet, et, en attendant qu'on trouve mieux, elle pourra encore trouver place dans les nouvelles éditions des Traités. Elle n'a, d'ailleurs, pas été inféconde cette théorie qui a fait rechercher les fortes compressions et les longues détentes, auxquelles sont dues les réductions de consommation réalisées dans le cours des dernières années. »

Sur la constante diélectrique et la dispersion de la glace pour les radiations électromagnétiques, par **C. Gutton,** *Comptes rendus*, t. CXXX, p. 1119-1122.

Pendant l'hiver dernier, M. Gutton vérifiait, avec le dispositif que nous rappelions récemment (¹), que la vitesse de propagation des ondes dans la glace est la même que ces ondes soient ou non guidées par des fils. Ayant supprimé le bloc de glace entourant les fils et ne laissant que le bloc, de 25 cm. d'épaisseur situé entre les miroirs paraboliques, il constata qu'en traversant cette glace des ondes de 14 cm. de longueur, éprouvaient un retard de 19 cm ; on avait donc pour l'indice de réfraction $n = 1 + \frac{19}{25} = 1,76$ et pour la constante diélectrique $n^2 = 3,1$. M. Blondlot ayant trouvé par une méthode différente, un nombre voisin de 2 pour cette constante (¹), M. Gutton pensa que cette discordance pouvait provenir de ce que M. Blondlot employait des longueurs d'ondes énormément plus grandes que les siennes et il se trouva ainsi amené à rechercher comment varie l'indice n avec la longueur d'onde λ.

Pour des longueurs d'onde comprises entre 25 et 750 cm il employa un dispositif (²) analogue à celui de Arons et Rubens (³) ; pour des longueurs d'onde plus grandes (1354 et 2088 cm)

(¹) *L'Écl. Élect.*, t. XXIII, p. 76, 14 avril 1900.

(¹) *Comptes rendus*, t. CXIX, p. 595 ; 1894.

(²) Les ondes se propagent le long de deux fils parallèles tendus l'un au-dessus de l'autre à une distance de 1,2 cm. Cette ligne forme un grand rectangle de 13,60 m de périmètre. Au milieu de l'un des grands côtés de ce rectangle, les points en regard sur chacun des fils sont reliés à un oscillateur. Le long du côté opposé et entre les deux fils, on peut déplacer un pont coupé en son milieu par un micromètre à étincelles. L'oscillateur envoie alors deux systèmes d'ondes qui parcourent chacun l'une des moitiés du rectangle. Les deux fils de la ligne sont croisés en un point du trajet de l'un des systèmes d'ondes ; il en résulte que, si le pont se trouve dans une position telle que les deux systèmes d'ondes l'atteignent au même instant, ils s'annulent mutuellement et il n'y a pas d'étincelles au micromètre. Sur l'un des petits côtés du rectangle, les fils traversent deux cuves en bois paraffiné ayant chacune 100 cm de long, 5 cm de large et 5 cm de haut, placées l'une à la suite de l'autre. Les deux cuves étant vides, on détermine la position du pont pour laquelle il n'y a plus d'étincelles au micromètre. On remplit les deux cuves d'eau bouillie et on laisse geler cette eau, puis on cherche la nouvelle position du pont pour laquelle les deux systèmes d'ondes y arrivent en même temps. Comme un déplacement du pont allonge le trajet de l'un des systèmes d'ondes et raccourcit celui de l'autre d'une quantité égale, la distance entre les deux positions du pont est la moitié du retard éprouvé par les ondes en traversant 200 cm de glace. De ce retard on déduit l'indice de réfraction. Les ondes étaient produites par des oscillations de M. Blondlot. Pour des longueurs d'ondes variant de 25 cm à 750 cm, l'indice de réfraction a varié de 1,73 a 1,60.

(³) *Wied. Ann.*, t. XLII, p. 581 ; 1891.

il se servit de la méthode de M. Blondlot qui consiste à mesurer la longueur d'onde d'un même résonateur d'abord lorsqu'il est dans l'air, puis lorsque le condensateur est plongé dans la glace.

Il a trouvé ainsi que, quand λ croît de 14 à 2 088 cm, l'indice de réfraction décroît régulièrement de 1,76 à 1,50 et la constante diélectrique de 3,10 à 2,25. La glace présente donc pour les ondes électromagnétiques la dispersion normale déjà constatée par Drude [1] dans certains liquides organiques n'absorbant pas sensiblement les ondes.

Sur la sensibilité maxima des cohéreurs employés pratiquement dans la télégraphie sans fil, par **A. Blondel** et **G. Dobkevitch.**

Dans une note récente, M. Tissot signalait l'emploi d'un champ magnétique pour donner aux cohéreurs à limailles magnétiques une très grande sensibilité [2]. MM. Blondel et Dobkevitch pensent que cet accroissement de sensibilité ne doit pas être attribué à une cause magnétique, mais à une cause mécanique, car ils obtiennent le même résultat sans aimant, avec n'importe quelle limaille sensible (alliages d'argent par exemple) en augmentant la hauteur de limaille contenue dans l'intervalle des électrodes, ce qui a simplement pour effet d'augmenter la pression entre limailles et entre limailles et électrodes.

Les auteurs exposent ensuite quelques considérations théoriques sur le fonctionnement des cohéreurs.

On sait que si on applique d'une façon continue une certaine force électromotrice entre les extrémités d'un cohéreur, celui-ci ne se décohère plus nettement par le choc ; la plus faible valeur E_0 de cette force électromotrice est appelée par les auteurs la « tension critique de cohérence du tube ». Pour qu'un tube puisse enregistrer convenablement des signaux, il faut que la force électromotrice E' de la pile qui est en circuit avec lui reste franchement au-dessous de cette valeur critique, c'est-à-dire que l'on ait $E' < E_0$. Mais, d'autre part, pour que le tube soit sensible, il faut que la force électromotrice E produite par les ondes dépasse cette valeur critique, c'est-à-dire que l'on ait $E_0 < E$. Une troisième condition est que le courant établi au moment de la cohérence reste au-dessous d'un certain maximum I (1 milliampère en général), car pour un courant plus intense, le tube se détériorerait ; si on appelle R la résistance du relai et r' celle du tube cohéré, cette condition s'exprime par l'inégalité $\frac{E'}{R + r'} < I$. Enfin pour que le tube décohère nettement et n'épuise pas la pile, il faut que le courant qui traverse le tube après le choc soit une très faible fraction du courant précédent ; par conséquent si on appelle r la résistance du tube décohéré, on doit avoir $\frac{R + r'}{R + r} < \frac{1}{n}$ (n est un nombre de l'ordre de 10).

De ces conditions, les auteurs déduisent les considérations suivantes :

« On accroît donc la sensibilité avec une antenne donnée, en abaissant le plus possible la valeur critique par l'emploi d'électrodes ou de limailles peu oxydables, sous de faibles pressions, et en mettant en circuit avec le tube une pile de faible force électromotrice et un relais de faible résistance intérieure. On peut alors supprimer la résistance supplémentaire ajoutée en série avec le relais pour réduire le courant et amener ainsi à un maximum la variation relative de résistance produite par la cohérence ou la décohérence du tube. On n'est limité dans l'abaissement de E et de E' que par la nécessité de conserver une valeur assez faible à $\frac{r'}{r}$ tout en faisant E_0 très petit ; c'est à ce point de vue que les limailles de métaux inoxydables employés entre électrodes inoxydables ne conviennent pas pour la construction pratique des cohéreurs, parce que leur résistance varie trop lentement avec la force électromotrice appliquée [1]. »

MM. Blondel et Dobkevitch ajoutent :

« Nous obtenons de cette façon avec une pile O. Keenan de 0,5 volt, travaillant sur un

(1) *Drude, Zeitsch. für phys. Chemie*, t. XXIII, p. 321, 1897.

(2) *Écl. Élect.*, t. XXIII, p. 78, 14 avril 1900.

(1) Les chiffres cités par M. Branly dans une récente note (voir plus haut p. 191) au sujet des tubes à or pur justifient cette manière de voir et montrent une fois de plus la nécessité d'une légère oxydabilité superficielle des limailles ou des électrodes pour la bonne marche d'un cohéreur pratique.

cohéreur de 0,8 à 1,0 volt de tension critique et un relais à cadre mobile de 100 à 200 ohms, une sensibilité et une régularité très supérieures à celles que donnent les éléments Leclanché de 1,5 environ, employés d'ordinaire sur des tubes d'au moins 2 volts de tension critique et des circuits de plus de 1 000 ohms. Le dispositif est encore plus parfait si l'on emploie, au lieu de pile, un potentiomètre placé sur un élément d'accumulateur ; on peut alors abaisser autant qu'on le veut la tension critique par le réglage du cohéreur et régler la force électromotrice du circuit en conséquence au moment même d'opérer.

» Ce dispositif, déjà décrit il y a dix-huit mois dans un pli cacheté déposé par l'un de nous [1], résout complètement, croyons-nous, le problème du réglage et de la sensibilité maxima des cohéreurs, surtout si on le combine avec le transformateur de Marconi qui élève la force électromotrice produite sur le tube par l'antenne. »

Sur l'action d'un champ électrostatique sur les rayons du radium, par **E. Dorn.** *Comptes rendus*, t. CXXX, p. 1126.

M. Becquerel communique le passage suivant d'une lettre qui lui a été adressée par M. Dorn :

« J'ai l'honneur de vous informer que j'ai constaté, dès le mois de février, la déviation des rayons émis par le bromure de baryum radioactif dans le champ électrique, et que j'ai publié une Note sur ce sujet dans les *Abhandlungen der Naturforschenden Gesellschaft zu Halle*, à la date du 11 mars.

» Vous avez devancé mon intention de faire des mesures quantitatives ; je ne veux donc pas insister sur le détail de mon expérience.

» Mais permettez-moi de signaler encore une autre analogie des rayons que vous avez découverts et des rayons cathodiques.

» M. Lenard avait trouvé (*Wiedemann's Annalen*, t. LXV, p. 509 ; 1898) que l'action des rayons cathodiques sur un écran fluorescent est affaiblie ou renforcée par la création d'un champ électrique, selon que les lignes de force ont la direction des rayons ou la direction opposée. J'ai réussi à constater le même phénomène pour les rayons du bromure de baryum. »

(1) Pli n° 6041, déposé le 16 août 1898 par A. Blondel.

SOCIÉTÉ DE PHYSIQUE DE LONDRES

Séance du 23 mars (suite).

Dispositif micrométrique pour la mesure des déplacements d'une membrane téléphonique, par **P.-E. Shaw.**

Au centre de la membrane est disposé un petit disque de platine iridié ; en face se trouve une pointe du même alliage ; quand, dans son déplacement, la membrane touche la pointe, le contact est indiqué par la fermeture d'un circuit contenant un téléphone. La mesure de la distance séparant la pointe de la membrane s'obtient au moyen d'un sphéromètre et d'un système de trois leviers : la vis du sphéromètre appuie sur l'extrémité du grand bras d'un premier levier dont le petit bras appuie sur l'extrémité du grand bras du second levier ; celui-ci agit de la même manière sur le troisième levier, lequel porte, à l'extrémité de son petit bras, la pointe de platine iridié. Le déplacement de la vis du sphéromètre se trouve ainsi transmis à la pointe avec une réduction de 1/100e. La vis ayant un pas de 5 mm, le cercle divisé qui y est fixé portant 500 divisions et le dixième de division pouvant être apprécié, on peut évaluer à un millionième de millimètre, soit un millième de micron ($\mu\mu$) la position de la pointe. L'auteur a d'ailleurs mesuré expérimentalement le déplacement correspondant à 1/10e de division du cercle du sphéromètre en faisant glisser la pointe sur la partie convexe d'une lentille plan convexe faisant partie d'un système optique donnant des anneaux de Newton ; il a trouvé ainsi 1,033 $\mu\mu$.

Pour faire une mesure du déplacement d'une membrane téléphonique on commence par amener la pointe au contact de la membrane en repos ; ensuite on lance dans le téléphone un courant qui déforme la plaque et on tourne la vis du sphéromètre jusqu'à ce qu'il y ait de nouveau contact. En répétant cette mesure pour des courants de diverses intensités, on peut tracer une courbe reliant le déplacement de la membrane avec l'intensité du courant. Au moyen de cette courbe, l'auteur a reconnu que le déplacement correspondant : au son le plus faible qui puisse être entendu est de 0,37 $\mu\mu$ environ ; à une intensité convenable pour les conversations téléphoniques est de 50 $\mu\mu$; à des sons très forts, de 1000 $\mu\mu$; et enfin à des sons d'une intensité beaucoup trop grande pour la netteté des conversations de 5 000 $\mu\mu$.

Le Gérant : C. NAUD.

Tome XXIII. Samedi 12 Mai 1900. 7e Année. — N° 19

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

L'EXPOSITION UNIVERSELLE

LES TAPIS ÉLÉVATEURS A MOUVEMENT CONTINU

Une très large application des tapis élévateurs a été faite à l'Exposition de 1900. Ce moyen de transport, rapide et commode, était indispensable, si l'on songe à l'immense étendue des galeries qui offrent à la curiosité des visiteurs le plus grand, mais aussi le plus fatigant attrait. Le passage d'un étage à l'étage supérieur se fait ainsi sans aucune fatigue et ce système a sur les ascenseurs l'avantage d'être continu et de permettre dans les conditions habituelles, 3 000 à 3 500 ascensions à l'heure.

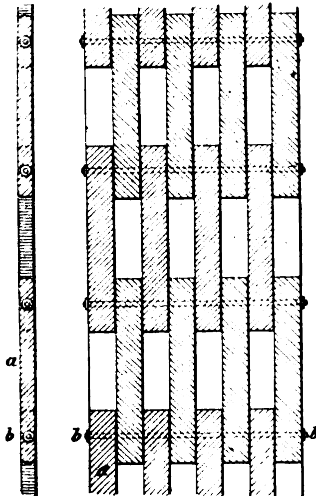


Fig. 1. — Tablier.

Il y aura environ une trentaine d'escaliers mobiles, répartis dans les différents palais du Champ-de-Mars, des Invalides, et pour le service de la plate-forme mobile. Ils proviennent des maisons A. Piat et fils (système Hallé), Jules Le Blanc, des établissements Cail, et de la maison Granddemange (système Cance et fils).

Les différents systèmes reposent sur le même principe [1] : Un tablier continu, mobile, s'enroulant sur deux tambours, est entraîné par l'adhérence avec l'un de ses tambours. Ce dernier est mû, grâce à des transmissions intermédiaires, par un moteur, presque toujours électrique. Le tablier est soutenu dans son mouvement par des galets de roulement, tous sur des axes fixes.

---

[1] L'entreprise de la construction et de l'exploitation des tapis ou chemins élévateurs a été l'objet d'un concours ; voici un extrait du programme de ce concours :

ARTICLE PREMIER. — *Objet du concours.* — Il est ouvert un concours entre constructeurs français pour l'établis-

Il y avait là une difficulté, car le tablier doit être suffisamment rigide pour ne pas fléchir sous le poids des voyageurs, entre les galets de roulement, ce qui produit un mouvement sinusoïdal assez désagréable sous le pied, et d'autre part, ce tapis doit être assez souple

---

sement et l'exploitation des chemins élévateurs, mus par l'électricité, à installer dans les palais du Champ-de-Mars et de l'Esplanade des Invalides.

Art. 2. — *Définition de l'entreprise.* — L'entreprise comprend : la construction, la mise en place, l'exploitation, le démontage et l'enlèvement des chemins élévateurs et de leurs accessoires.

Art. 3. — *Caractères particuliers de la fourniture.* — Les appareils installés seront considérés comme objets exposés. Les conditions du règlement général de l'Exposition leur seront applicables ; ils seront notamment inscrits au Catalogue et soumis à l'examen du jury international ; ils concourront pour l'obtention des récompenses.

En raison de ce caractère particulier, la fourniture des appareils sera faite dans les mêmes conditions que celle des autres appareils exposés, c'est-à-dire qu'il ne sera rien alloué de ce chef aux exposants. L'installation et l'exploitation des appareils donneront seules lieu à la rémunération définie à l'article 21 ci-après.

Tous les appareils constituant l'installation resteront donc la propriété du concessionnaire, qui en disposera librement à l'expiration du délai fixé pour l'exploitation à l'article 10 et après accomplissement de ses engagements envers l'administration.

Art. 4. — *Dispositions générales des appareils.* — Les chemins élévateurs, leurs moteurs électriques, transmissions et autres accessoires, seront établis conformément aux dispositions générales figurées sur le dessin joint au présent programme.

Les poutres-lougerons du chemin seront soutenues en tête, au plancher de l'étage, par une ou deux époutilles reposant sur un massif arasé au niveau du sol ; ils pourront, en outre, être soutenus, en un point de leur longueur, par une ou deux autres époutilles établies dans l'alignement des piliers des palais.

La baie d'arrivée dans le plancher supérieur sera établie par l'administration de l'Exposition et à ses frais ; le concessionnaire devra la munir d'un garde-corps d'un modèle accepté par l'administration ; la baie aura 2 mètres de largeur et 10,65 m de longueur.

Art. 5. — *Définition des appareils.* — Les appareils seront établis pour une seule file de voyageurs ; leurs proportions seront les suivantes :

Largeur intérieure, à l'endroit où reposent les pieds	0,600 m
— à la hauteur des rampes	0,900 m
Inclinaison du chemin par mètre	0,330 m

Charge de voyageurs sur le chemin :

Normalement, un par mètre, soit	20 voyageurs.
Au maximum, deux par mètre soit	40 —
La hauteur du sol au rez-de-chaussée au sol de la galerie est de	7 mètres.

Art. 6. — *Vitesses.* — Les appareils seront établis pour les vitesses de régime par seconde ci-après spécifiées :

Vitesse minimum	0,500 m : sec
— maximum	0,600 m : sec

Art. 7. — *Transporteurs proprement dits.* — L'organe transporteur proprement dit sera constitué par un tablier sans fin de matière souple et résistante, à déroulement continu et uniforme, réunissant toutes les conditions de douceur et de rigidité nécessaires.

En marche, les supports soutenant ce tablier ne devront pas causer de ressauts sensibles pour les pieds des voyageurs.

Les tendeurs de ce tablier devront pouvoir compenser tout l'allongement qui pourra se produire pendant la durée de l'exploitation, de façon à ne pas avoir à démonter l'appareil pendant l'Exposition.

L'ensemble devra fonctionner absolument sans bruit.

Enfin, tout organe mécanique ayant besoin de graissage devra être soustrait au contact des voyageurs.

Art. 8. — *Nature et dispositions du moteur.* — La dynamo motrice et sa transmission seront groupées aussi près que possible de l'appareil.

Tous les organes en seront accessibles, pour l'entretien du sol ou du plancher de la galerie.

Des dispositions seront prises pour qu'en cas d'avaries quelconques du treuil moteur le chemin chargé de voyageurs ne puisse prendre un mouvement descendant.

Art. 9. — *Rampes latérales.* — Les rampes latérales ou mains-courantes seront formées d'un câble sans fin, garni de telle sorte qu'il présente, sous les mains des voyageurs, un appui doux et propre.

La partie supérieure de ce câble, à hauteur de main, sera seule apparente ; la partie inférieure et tous les organes du mouvement seront enfermés dans des gardes latérales, placées de part et d'autre du chemin. Ces gardes seront à parois pleines et lisses, pour ne présenter aucune aspérité pouvant accrocher les vêtements des voyageurs.

pour s'enrouler facilement sur les tambours, et fournir avec le tambour moteur une adhérence assez forte pour entraîner tout le système à sa charge maxima.

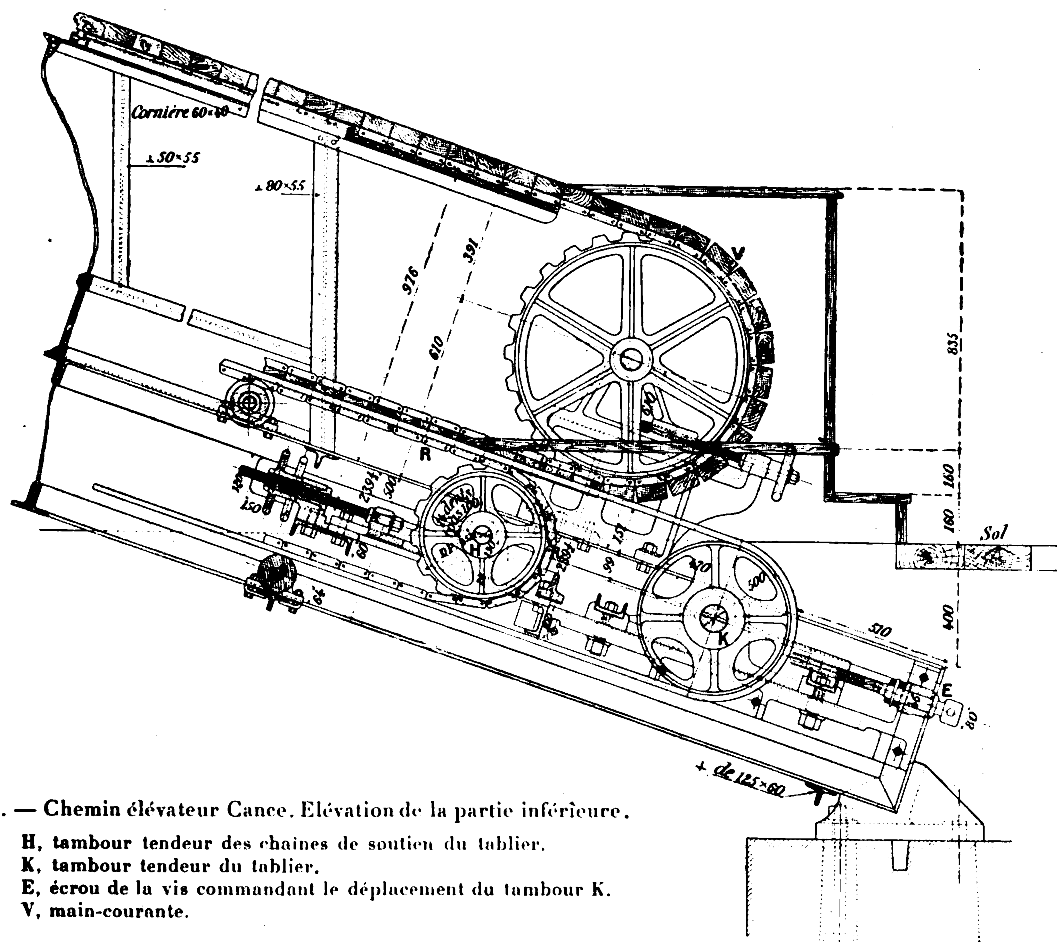


Fig. 2. — Chemin élévateur Cance. Elévation de la partie inférieure.
H, tambour tendeur des chaînes de soutien du tablier.
K, tambour tendeur du tablier.
E, écrou de la vis commandant le déplacement du tambour K.
V, main-courante.

Pour réaliser ces conditions on constitue généralement les tapis de bandes de cuir, convenablement assemblées, et l'on donne aux tambours d'assez grandes dimensions. Pour éviter l'encombrement total, le retour du tapis se fait sur deux galets de rappel, qui diminuent l'épaisseur totale de l'ensemble. Ces tapis élévateurs fonctionnent sans bruit et tous les

---

Les rampes auront exactement la même vitesse que le chemin.

Art. 10. — *Durée de la fourniture.* — Les appareils devront être mis à la disposition du public au plus tard le 15 avril 1900. Ils devront rester en service jusqu'à la fermeture de l'Exposition, soit le 5 novembre 1900.

Art. 11. — *Durée du travail journalier.* — La durée du travail journalier sera fixée par le Directeur général de l'exploitation, en raison des besoins du service.

. . . .

Art. 16. — *Epreuves de résistance.* — Les épreuves de résistance se feront sous une charge de 3 500 kg, représentant le poids de 50 voyageurs, uniformément répartis sur le chemin.

Cette charge sera laissée en permanence aussi longtemps que l'Administration le jugera utile.

Art. 17. — *Essais de marche.* — Des essais de marche ne pouvant se faire sous cette charge de 50 voyageurs, qui devrait se renouveler sans cesse d'une façon continue, on fera agir les tendeurs de manière à donner au tablier flexible une tension correspondante à celle qu'il aurait reçue sous le poids de 50 voyageurs, et l'on marchera sous cette tension à la plus grande vitesse et d'une façon continue aussi longtemps que l'Administration le jugera utile.

organes mécaniques sont protégés et dissimulés, de façon à ce que les voyageurs ne soient pas salis par le graissage indispensable.

L'inclinaison du tapis varie de 0,30 m à 0,33 m par mètre. Sa largeur accessible aux pieds est de 0,50 m à 0,60 m. L'encombrement total en largeur ne dépasse guère 1 m. La vitesse d'ascension varie entre 0,50 m à 0,60 m par seconde. L'énergie dépensée est, naturellement, fonction du mode de construction. du moteur, de l'entretien, et du nombre des voyageurs. A vide. pour un étage de 6 m. il faut au maximum 3 chevaux. Pour une moyenne de 1800 personnes à l'heure, 6 chevaux suffisent.

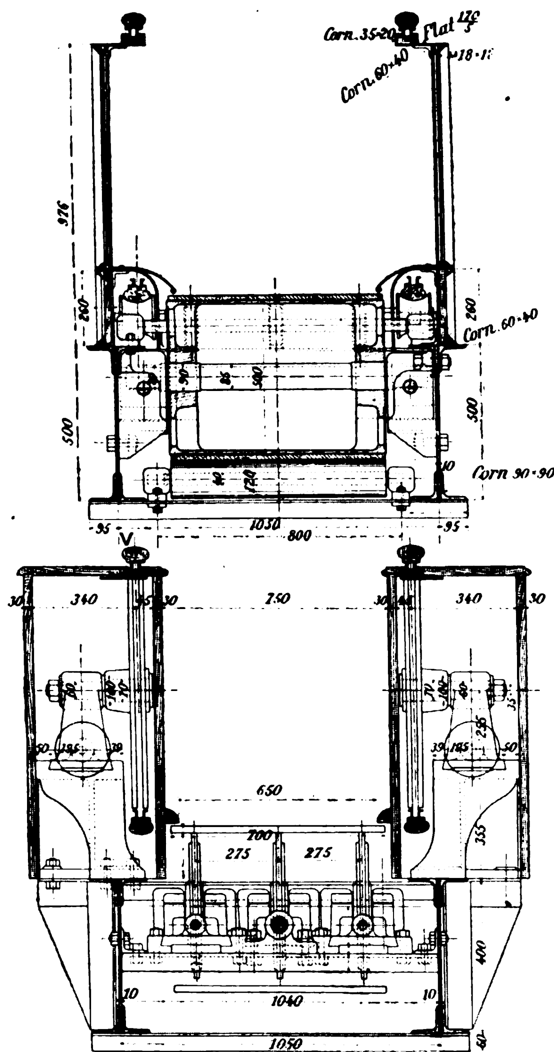


Fig. 3 et 4. — Coupes transversales de la partie inférieure et de la partie médiane.

Le système est complété par deux mains-courantes mobiles, animées de la même vitesse que le tapis. Ces mains-courantes sont, en général, faites en caoutchouc recouvert de peluche.

I. Tapis élévateurs Granddemange (Système Cance). — La solution Cance nous paraît offrir de réels avantages, dont les principaux sont :

1° Un encombrement très restreint;

2° La suppression du mouvement sinusoïdal du tapis sous le poids des voyageurs entre les galets de roulement.

Le tapis est constitué de façon à avoir sur le tambour-moteur une très grande adhérence tout en étant suffisamment rigide, et les tambours conservant des dimensions moyennes. Il est fait de plusieurs chaînes, formées par des maillons de cuir *a*, à la façon des chaînes Galle (fig. 1). Les maillons sont articulés autour de tiges d'acier *b*, transversales, qui contribuent beaucoup à la rigidité du tablier. De plus, celui-ci est soutenu par des câbles R (fig. 2) qui suivent exactement le même chemin que le tapis, en s'insérant dans des gorges, ménagées à cet effet, dans les galets de roulement et les tambours (fig. 2, 3 et 4). Le tapis se trouve ainsi soutenu dans toute sa longueur. Ces câbles sont assez rigides par eux-mêmes pour qu'il ne soit pas nécessaire de les soumettre à une tension exagérée. Ils sont actuellement constitués par de véritables chaînes Galle ainsi que le montrent les dessins ci-joints.

C'est le tambour supérieur S (fig. 6) qui sert de tambour-moteur. Il est relié par des chaînes métalliques et plusieurs transmissions et engrenages intermédiaires T au moteur électrique M. Un dispositif spécial permet de tendre la chaîne de commande du tambour supérieur afin d'obtenir un bon rendement des transmissions.

Le tambour inférieur K est mobile dans le sens de la pente ; au moyen d'une vis et d'un

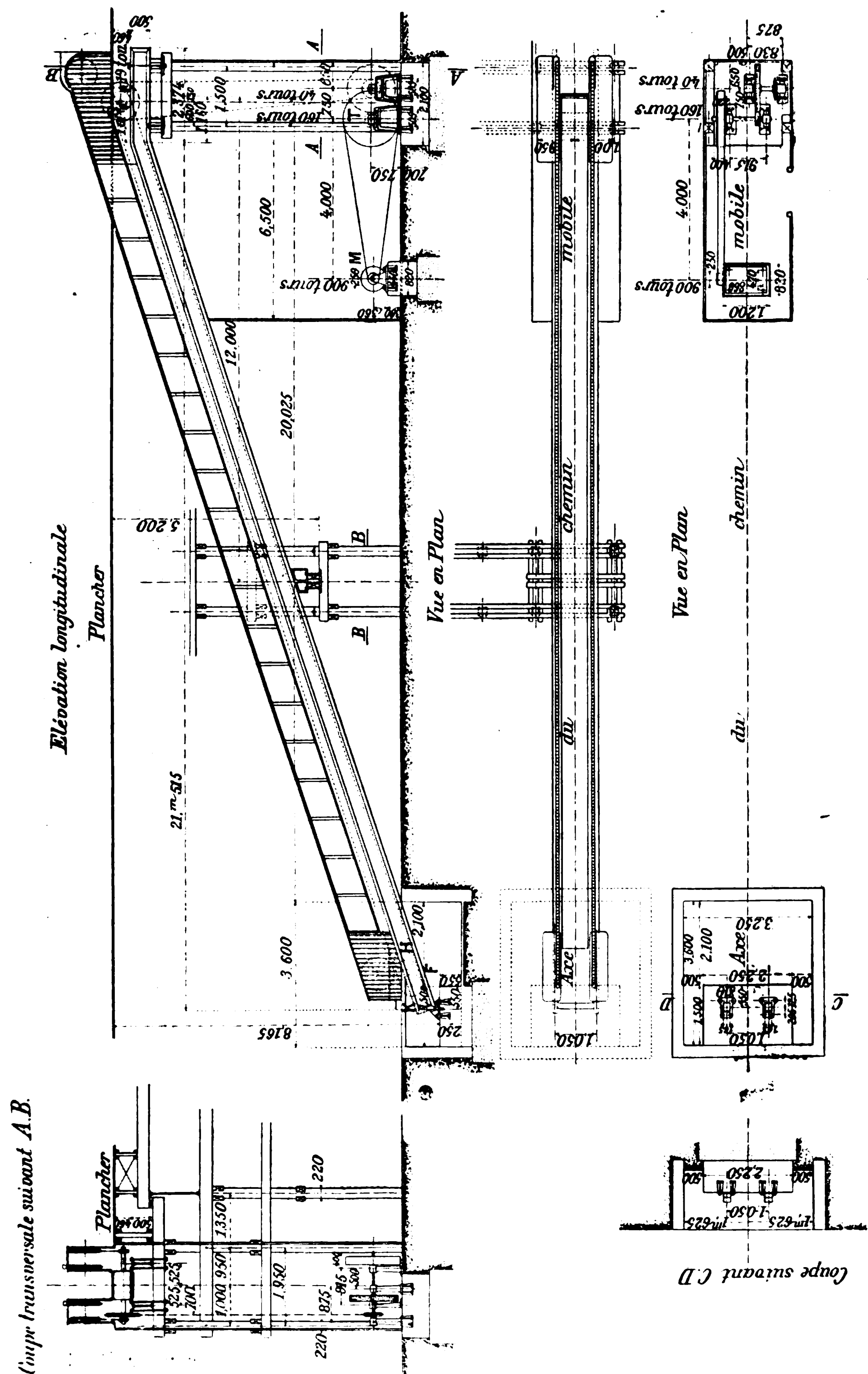


Fig. 5, 6, 7, 8 et 9. — Élévation, vue en plan et coupes diverses.

F. Bâti en fonte du chemin élévateur.
H. Tambour tendeur des chaînes de soutien du tablier.
K. Tambour tendeur du tablier.
S. Tambour moteur du tablier et des chaînes.
T. Mécanisme de transmission du mouvement.
M. Moteur électrique actionnant le chemin élévateur.

écrou E (fig. 2), on peut tendre ainsi facilement le tapis. Le tambour moteur S entraîne tout

aussi bien le tapis que les câbles de soutien. D'ailleurs, ceux-ci sont aidés dans leur mouvement par le poids même du tablier.

Il est toutefois bon, pour éviter les bourrelets, de tendre aussi les câbles, et cela se fait par un troisième tambour H (fig. 2) situé près du tambour inférieur K et mobile dans les mêmes conditions.

Ces tambours sont montés solidairement sur un même bâti en fonte F (fig. 6) supportant deux poutres en fer qui vont se relier au bâti du tambour supérieur S, formant ainsi la carcasse du système.

Dans ces poutres sont fixés les bouts d'axe des galets de roulement, qui tournent dans les paliers faisant corps avec les poutres. Ce sont des paliers graisseurs hermétiquement clos.

Les mains-courantes sont constituées par des maillons en bois V (fig. 2) fixés sur une bande d'acier ou de poils de chameaux qui s'enroule sur les tambours principaux participant donc facilement au mouvement général.

Ce système fonctionne déjà dans d'excellentes conditions aux magasins de la Samaritaine où, à cause du manque de place, les trois tapis élévateurs sont placés les uns au-dessus des autres, ce qui est la meilleure preuve du peu d'encombrement qu'ils occasionnent. Les trois tambours moteurs sont commandés directement par un seul électromoteur (Alioth, 440 volts, 44 ampères, 800 tours à la minute). La puissance de ce moteur est supérieure à celle qui est nécessaire, même en charge maxima.

L'expérience a montré que l'énergie maxima dépensée était de 9 chevaux.

Deux tapis élévateurs de ce système ont été construits pour la Compagnie des Transports Électriques de l'Exposition, l'un à la gare « Parc du Champ-de-Mars » (rue de Montessuy), l'autre à la station du Palais de l'Alimentation (ancienne Galerie des Machines).

En remerciant MM. Cance d'avoir bien voulu mettre leur brevet et les dessins de leurs escaliers à notre disposition, nous les félicitons de l'aimable empressement qu'ils ont mis à nous envoyer leurs documents. Nous souhaitons pouvoir prochainement donner quelques détails sur les autres systèmes adoptés à l'Exposition.

E. Nelson-Uhry.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

Rendement d'un groupe électrogène à turbine à vapeur Westinghouse, par **Ed.-C. de Segundo**. *The Electrical Review*. Londres, t. XLVI, p. 722, 27 avril 1900.

Après avoir, en 1896, acheté la licence des brevets Parson, la Compagnie Westinghouse s'est lancée résolument dans la construction des turbines de grande puissance et récemment elle n'a pas craint d'entreprendre celle d'une turbine de 2 500 chevaux.

C'est toutefois de turbines moins puissantes que nous entretient M. de Segundo, bien que leur puissance atteigne cependant le chiffre respectable de 500 chevaux. Ces turbines, au nombre de trois, sont situées dans les ateliers de fabrication des freins de la Compagnie Westinghouse où elles actionnent directement trois alternateurs de 300 kilowatts.

Les essais qui ont été faits sur ces groupes électrogènes ont montré que la consommation de vapeur est, par cheval-heure électrique, de

7,43 kg à pleine charge
7,70 — à trois quarts de charge
8,25 — à demi-charge.

La température de la vapeur étant de 177° à l'admission et 39° à l'échappement, le rendement du cycle de Carnot correspondant serait

de $\frac{450 - 312}{450}$ soit 30,6 p. 100. Comme une consommation de vapeur de 7,43 kg correspond à une consommation d'énergie calorifique d'environ 4 900 grandes colories, il s'en suit que le maximum d'énergie que l'on pourrait obtenir sous forme mécanique avec cette consommation serait de 4 900 $\times$ 0,306 ou 1 500 grandes calories. Or on recueille un cheval-heure électrique, soit 635 grandes calories. Le rendement du groupe électrogène est donc les $\frac{635}{1500}$ ou 42,3 p. 100 de la quantité d'énergie que l'on pourrait recueillir si la transformation de la chaleur en travail s'effectuait suivant le cycle de Carnot. En admettant un rendement de 0,94 pour l'alternateur le rendement de la turbine seule est de $42{,}3 \times \frac{100}{94} = 45$ p. 100 du rendement maximum [1]. Si l'on tient compte de la diminution qu'éprouve le rendement de l'alternateur quand la charge diminue, on trouve, dit M. de Segundo, que le rendement de la turbine est sensiblement indépendant de cette charge. J. R.

Générateurs de courants ondulés, par **C. Heinke**. *Dr. Ann.*, **1**, 326-352 et 441-462, février-mars 1900.

Heinke désigne sous le nom de courant ondulé la superposition d'un courant continu à un courant alternatif, à laquelle on peut ramener le courant obtenu avec un interrupteur de Wehnelt.

Nous avons eu précédemment l'occasion de présenter ici les expériences principales par lesquelles il a justifié cette manière de voir [2].

Dans le mémoire présent, il cherche à expliquer le mécanisme suivant lequel le courant est transformé par l'interrupteur. Du reste, l'interruption totale du courant n'est qu'un cas particulier : la plupart du temps il se produit seulement une variation rapide du courant.

L'idée fondamentale sur laquelle repose l'explication de Heinke, c'est que pendant le régime stable, alors que l'appareil fonctionne comme interrupteur, il se produit une décharge disruptive à travers la gaine de vapeur qui entoure l'électrode de platine. Les accroissements d'intensité et de force électromotrice résultent d'un phénomène de résonance. Cette résonance a ceci de particulier qu'elle peut se produire dans des conditions fort différentes, parce que la fréquence et aussi jusqu'à un certain point la capacité (celle formée par le platine et le liquide séparés par la gaine gazeuse) sont susceptibles de varier ; il en résulte que dans certaines limites, l'appareil se règle, pour ainsi dire, de lui-même. L'influence du sens du courant est en rapport avec cette variation de la fréquence et de la capacité, liée à la nature et à la quantité du gaz qui se dégage.

Effectivement, en calculant la fréquence d'après la self-induction qui est connue et la capacité telle qu'on la calcule d'après les mesures, on trouve des nombres très voisins des nombres réels.

Quand la self-induction est très petite ou nulle, il ne se produit pas de courant ondulé ; en faisant croître progressivement la force électromotrice, on obtient directement après le régime d'électrolyse ordinaire le régime d'incandescence, sans ondulation. Cependant quand la pointe de platine est relativement très longue, on observe un courant ondulé, quelle que soit d'ailleurs la polarité du platine ; mais le phénomène est très instable. Il est dû à la self-induction des connexions reliant l'appareil aux instruments de mesure et à la batterie d'accumulateurs.

La présence dans le circuit d'un transformateur, influe sur la stabilité du régime du générateur de courants ondulés. Plus l'intensité du courant secondaire augmente et plus son décalage vis-à-vis de la force électromotrice secondaire deviennent grands, plus le fonctionnement du générateur devient instable. En mettant une capacité en dérivation sur le secondaire du transformateur, on réalise de nouvelles conditions de résonance qui en réagissant sur le circuit primaire favorisent la résonance qui s'y produit.

Dans tous les cas, il est impossible de calculer la dépense d'énergie ni par le produit de la force électromotrice de sens constant, par l'intensité de sens constant, encore moins par le produit de la force électromotrice efficace par l'intensité efficace du courant alternatif. Cette

(1) M. de Segundo trouve en faisant le calcul en unités anglaises, un chiffre plus élevé, 47,73. En suivant ce calcul nous avons constaté que l'auteur a commis deux fautes qui affectent le résultat dans le même sens et qui expliquent cette différence de 2,73 p. 100 entre son résultat et le nôtre.

(2) Cf. *L'Écl. Élect.*, t. XXI, p. 128, 1899.

dépense ne peut se mesurer que par l'expérience, au moyen d'un wattmètre. M. L.

Transformation d'un courant alternatif en courant de fréquence double au moyen d'un transformateur fixe, par **J. Zenneck**. *Wied. Ann.*, LXIX, 858-860, décembre 1899.

Le courant à transformer est divisé en deux branches, dont chacune renferme un voltamètre de Grœtz (fig. 1) : ces voltamètres sont orientés

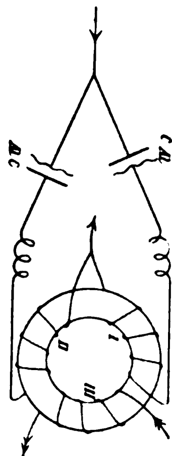


Fig. 1.

en sens inverse. Chacune des branches se continue par l'un des enroulements d'un transformateur ; dans un troisième enroulement, on recueille le courant transformé, de fréquence double.

En effet, pendant une période du premier courant, il se produit deux maxima autour du noyau du transformateur et il en sera de même de la force électromotrice induite dans le troisième enroulement.

Dans les essais effectués, il est vrai, avec un transformateur construit sans soin particulier, le rendement était assez faible ; mais il est, sans doute, susceptible d'augmentation; M. L.

Résistance des conducteurs parcourus par des courants alternatifs, par **G. Lohmann**. *Electrical World and Engineer*, t. XXXIV, p. 612, cité par le *Zeitschrift für Elektrotechnik*, t. XVII, p. 600, 26 novembre 1899.

L'augmentation apparente de la résistance d'un conducteur, lorsqu'il est parcouru par un courant alternatif, tient surtout à deux causes : 1° la force électromotrice induite par les variations de courant ; 2° la densité du courant est plus grande à la surface qu'au centre. C'est cette propriété que les Anglais appellent le *Skin effect* (effet de peau) : on en a donné diverses explications. Le courant alternatif produit un champ magnétique non seulement à l'extérieur, mais encore à l'intérieur du conducteur, les lignes de forces intérieures ne produisent des forces électromotrices induites que dans les parties non traversées par ces lignes; donc la force électro-

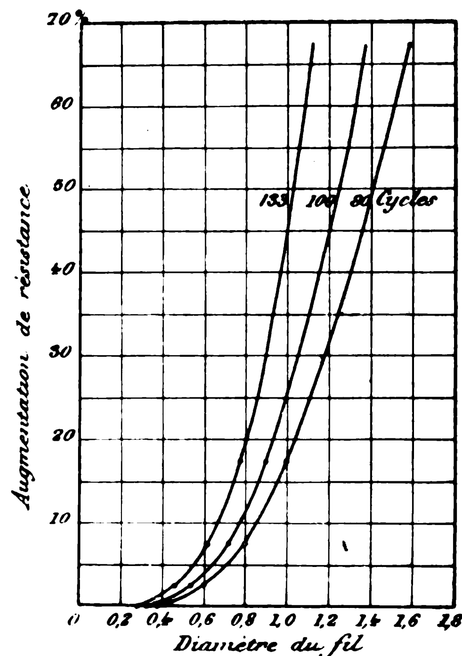


Fig. 1. — Courbes de l'augmentation de résistance.

motrice induite suivant l'axe sera plus grande que sur la surface, et il s'écoulera donc une plus grande quantité d'électricité au voisinage de la surface qu'au centre ; de plus le courant passant par le centre aura un angle de phase plus grand que le courant superficiel, ce qui tendra à modifier la courbe du courant.

On arrive au même résultat en admettant que le courant se répartit de telle sorte que l'énergie dépensée soit minimum. Représentons-nous un conducteur circulaire comme une série de tubes d'égale résistance ohmique : le courant passant par le tube central donnerait lieu à une plus grande dépense d'énergie que le courant périphérique, car ce dernier n'aurait à aimanter que l'espace extérieur au conducteur, tandis que le premier aurait ainsi à produire son champ

dans l'espace du conducteur. Si au contraire la densité de courant croît du centre à la surface, on trouvera une répartition correspondant à un minimum d'énergie.

Les courbes que nous reproduisons ici représentent d'une part le skin-effect, d'autre part les effets d'induction du courant alternatif. On en

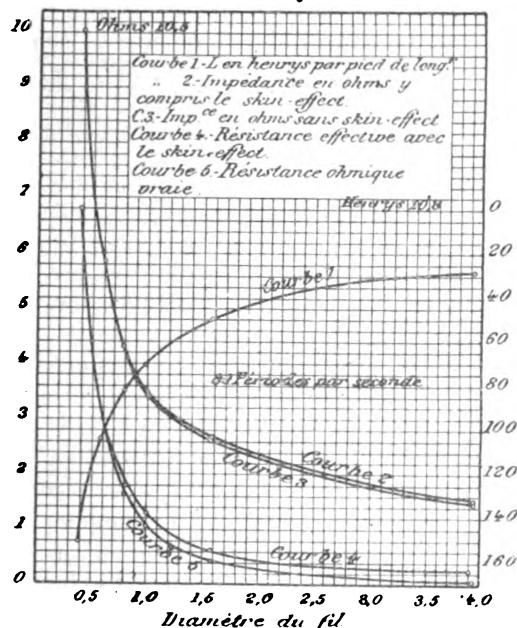


Fig. 2. — Courbes de l'effet d'induction.

conclut que l'augmentation de résistance due à ces phénomènes peut être négligée en pratique même pour un fil de 1 cm de diamètre et la fréquence 133; mais pour les plus grands diamètres, cette augmentation croît rapidement. La courbe 2 donne la valeur du coefficient de self-induction L d'un conducteur rectiligne par unité de longueur (pied anglais). La courbe 4 donne la résistance effective R en tenant compte du skin-effect. Nous avons pour L la formule :

$$L = l\left[A + \mu l\left(\frac{1}{2} - \frac{1}{48}\frac{\mu^2 n^2 l^2}{R^2} + \frac{13}{8640}\frac{\mu^4 n^4 l^4}{R^4}\right)\right]$$

A est une constante, μ la perméabilité, $n = \frac{2\pi}{\tau}$ est la fréquence, R la résistance ohmique, l la longueur. La formule pour R_1 est :

$$R_1 = R\left(1 + \frac{1}{12}\frac{\mu^2 n^2 l^2}{R^2} - \frac{1}{180}\frac{\mu^4 n^4 l^4}{R^4} + \ldots\right).$$

On en conclut que lorsque la fréquence décroît, L tend vers la valeur $l\left(A + \frac{1}{2}\mu\right)$ et lorsque la fréquence croît, la résistance augmente indéfiniment. E. B.

Compensation de la chute de tension dans les lignes à courants alternatifs, par E. J. Berg. *Electrical World*, vol. XXXV, nº 2, p. 60, 13 janvier 1900.

La relation complexe qui relie les différences de potentiel aux deux extrémités d'une ligne avec la chute de tension en ligne est :

$$E_0 = E + RI = E + (r + s\sqrt{-1})(i + i_1\sqrt{-1}) \quad \text{(A)}$$

où

E_0 est la différence de potentiel à l'extrémité génératrice ;

E celle à l'extrémité réceptrice ;

i la composante wattée du courant ;

i_1 la composante déwattée du courant, différence $i_3 - i_2$ des courants déwattés en avant i_3 et en arrière i_2 de la tension ;

r la résistance ohmique et s l'inductance de la ligne.

En prenant le vecteur E pour origine des vecteurs on a pour le carré de la valeur efficace e_0 de la tension à l'extrémité génératrice,

$$e_0^2 = (e + ri - si_1)^2 + (ri_1 + si)^2. \quad \text{(A')}$$

Cette équation résolue par rapport à i_1, l'intensité du courant déwatté, donne :

$$i_1 = \frac{es}{R^2} \pm \sqrt{\frac{e^2 s^2}{R^4} - i^2 - \frac{2eri}{R^2} + \frac{e_0^2 - e^2}{R^2}}, \quad \text{(B)}$$

R étant la résistance apparente ou l'impédance de la ligne.

Si la charge est non inductive il n'y a pas de courant déwatté en arrière et i_2 est nul, on a alors pour le courant dû au compensateur (moteur synchrone surexcité)

$$i_3 = \frac{es}{R^2} - \sqrt{\frac{e^2 s^2}{R^4} - i^2 - \frac{2eri}{R^2} + \frac{e_0^2 - e^2}{R^2}}, \quad \text{(C)}$$

le signe + du radical ne correspondant ici à aucune valeur pratique et n'étant par conséquent pas à considérer.

M. Berg applique ces formules au calcul d'une transmission de 1 000 kilowatts à 60 périodes sous une tension de 10 000 volts à l'extrémité réceptrice d'une ligne de 32,180 km en

supposant pour plus de simplicité que le facteur de puissance des appareils de réception est égal à l'unité.

Le courant dans la ligne est de

$$\frac{1\,000\,000}{10\,000} = 100 \text{ ampères.}$$

Si l'on admet une perte d'énergie de 10 p. 100, on a

$$rI^2 = 100000\,;$$

d'où pour la résistance de la ligne

$$r = \frac{100000}{10000} = 10 \text{ ohms.}$$

L'auteur adopte du fil de 11,61 mm de diamètre qui, pour une longueur de 64,360 km, a pour résistance $r = 10{,}4$ ohms.

L'inductance, d'après la formule

$$s = 2\pi . \frac{1}{T} 2l \left(2 \log n \frac{d}{a} + \frac{1}{2}\right),$$

a pour valeur

$$s = 2\pi .60.64360000 \left(2 \log n \frac{91.5}{11,68} + \frac{1}{2}\right) = 22{,}5 \text{ ohms,}$$

en prenant

d = distance des fils = 91,5 centimètres
a = diamètre du fil = 11,68 millimètres.

L'impédance de la ligne est donc

$$R = \sqrt{10{,}4^2 + 22{,}5^2} = 24{,}8.$$

Pour une charge non inductive la tension aux bornes de la génératrice sera de :

$$e_0 = \sqrt{(e + ir)^2 + s^2 i^2}$$
$$= \sqrt{(10000 + 100 \times 10{,}4)^2 + 22{,}5^2 \times 100^2} = 11300.$$

Si l'on veut avoir le même voltage aux deux extrémités de la ligne, c'est-à-dire si l'on veut compenser la chute de tension totale, il faudra fournir un courant déwatté en avance dont la valeur est donnée par la formule (C) en y faisant $e_0 = e$.

$$i_3 = \frac{10000 \times 22{,}5}{615}$$
$$- \sqrt{\frac{(225000)^2}{615^2} - 100^2 - \frac{2000000 + 10{,}4}{615}} = 66 \text{ amp.}$$

La compensation de la chute de tension exigerait donc un condensateur d'une puissance apparente de 660 kilowatts ; ce condensateur peut être remplacé évidemment par un moteur synchrone de même puissance et à champ surexcité de façon à donner à vide ce courant de 66 ampères. Si la puissance apparente du moteur est supérieure à 660 kilowatts on pourra lui faire produire en même temps un certain travail mécanique dépendant de l'intensité du courant que le moteur peut supporter. En particulier si le moteur peut supporter une surchage de 5 p. 100, ou 69,3 ampères le courant watté qu'il pourra absorber sera de

$$\sqrt{69{,}3^2 - 66^2} = 21{,}2$$

ce qui correspond à une puissance de 212 kilowatts, soit 32,2 p. 100 de la puissance déwattée fournie.

Pour une intensité de 10 p. 100 supérieure à l'intensité du courant déwatté à vide, la charge du moteur sera 303 kilowatts ou 45,8 de la puissance déwattée ; pour 15 p. 100 d'augmentation de courant, la charge sera de 375 kilowatts ou 56,7 p. 100. Inversement, si un moteur synchrone à pleine charge est employé à fournir les courants déwattés nécessaires à l'inductance de la ligne, la production d'un courant de retard de 32,2 ; 45,8 ; 56,7 p. 100 du courant de pleine charge nécessitera une augmentation de 5,10 ou 15 p. 100 du courant à l'aide d'une surexcitation du champ.

Les moteurs synchrones ainsi employés agissent dans certaines limites comme des compensateurs automatiques, car si la charge augmente, la chute dans la ligne augmente aussi et la tension aux bornes du moteur diminue. Si donc l'excitation du moteur se fait par un circuit local à potentiel constant, l'appareil donne une force contre-électromotrice constante et fournit par suite un plus grand courant déwatté qui vient s'opposer à l'augmentation de la chute de tension.

Cette propriété dépend toutefois de la réaction d'induit et des conditions magnétiques du moteur c'est-à-dire de la saturation ; il est donc possible seulement d'en tenir compte dans chaque cas particulier.

Pour un réglage parfait, l'excitation doit être augmentée avec la charge.

Si l'on voulait avoir à l'extrémité réceptrice une tension supérieure de 5 p. 100 à celle de la gé-

nératrice, on aurait pour la valeur du courant déwatté en remplaçant e_0 par 0,95 e dans (C) :

$$i_3 = \frac{225000}{615}$$
$$- \sqrt{\frac{(22500)^2}{615^2} - 100^2 - \frac{2000000 \times 10,4}{615} - \frac{10\,000.000}{615}}$$
$$= 95 \text{ ampères}$$

La puissance apparente du moteur synchrone serait de 95 p. 100 de celle de la génératrice.

Pour obtenir la répartition du potentiel le long de la ligne il suffira de remplacer dans (A') r et s par des valeurs convenables représentant la résistance et l'inductance entre un point de la ligne et l'extrémité réceptrice, la valeur e_0 donnée par formule représente alors la tension en ce point. Si l'on évalue les distances en pour cent de la longueur totale, il faudra faire :

$$r = 10,4\,x\,; \quad s = 15 + 22,5\,x\,;$$

on obtient ainsi dans le cas d'une même tension aux deux extrémités :

A l'extrémité réceptrice :	10000	volts
10 p. 100 de »	10000	»
20 » »	9930	»
30 » »	9900	»
40 » »	9880	»
50 » »	9880	»
60 » »	9880	»
70 » »	9900	»
80 » »	9920	»
90 » »	9950	»
A l'extrémité génératrice :	10000	»

On voit que la tension est plus faible le long de la ligne qu'aux extrémités et que *pratiquement* elle est la même sur toute la longueur.

Pour diminuer les courants déwattés à fournir et par suite la puissance du moteur synchrone, il est souvent avantageux d'installer à l'extrémité réceptrice une réactance en série avec la ligne de façon à augmenter l'inductance totale.

En particulier, si l'on dispose en série sur la ligne une bobine de self-induction d'une capacité apparente égale à 15 p. 100 de la puissance wattée transmise, la valeur du courant déwatté à fournir par un moteur synchrone pour égaler les tensions aux deux extrémités n'est plus que de 54 ampères.

On a en effet ici

$$r = 10,4\,\omega, \quad s = 22,5 + \frac{150000}{10000} = 37,5\,\omega,$$

et par suite

$$i_3 = \frac{3750000}{1513} - \sqrt{\left(\frac{375000}{1513}\right)^2 - 100^2 - \frac{2000000 \times 10,4}{1513}}$$
$$= 54 \text{ ampères.}$$

La puissance du moteur est donc de 18 p. 100 plus faible.

Dans ce cas toutefois, le potentiel n'est plus le même le long de la ligne, la figure 1 représente la tension aux différents points de la ligne calculée à l'aide de la formule A' en posant

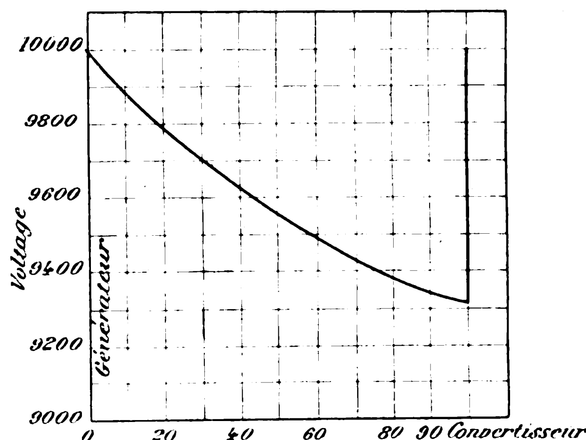


Fig. 1. — Distribution de la différence de potentiel le long d'une ligne de 10,4 ohms de résistance et de 22,5 ohms d'inductance et en prenant une inductance additionnelle de 15 ohms en série à côté du moteur synchrone compensateur de la chute de tension en ligne.

$$r = 10,4 \times x \quad \text{et} \quad s = 15 + 22,5\,x.$$

On voit que la tension s'abaisse graduellement d'un bout à l'autre de la ligne pour revenir à 10 000 volts après la bobine de self-induction. La chute de tension en chaque point est plus faible que la chute ohmique correspondante.

Avec une tension à la génératrice de 5 p. 100 plus faible qu'à l'extrémité réceptrice, le courant déwatté est de 73 ampères au lieu de 95 ampères, c'est-à-dire 23 plus faible.

Il y a évidemment un minimum pour la puissance du moteur; pour le trouver, M. Berg calcule la valeur du courant i_3 pour des inductances variant de 10 à 80 ohms. Les résultats obtenus sont portés sur la courbe de la figure 2. La valeur la plus favorable pour l'intensité du courant du moteur est de 54 ampères. En général lorsque la

chute de tension en ligne est compensée, les pertes en ligne sont augmentées. Dans le cas particulier qui nous occupe, les pertes qui ne

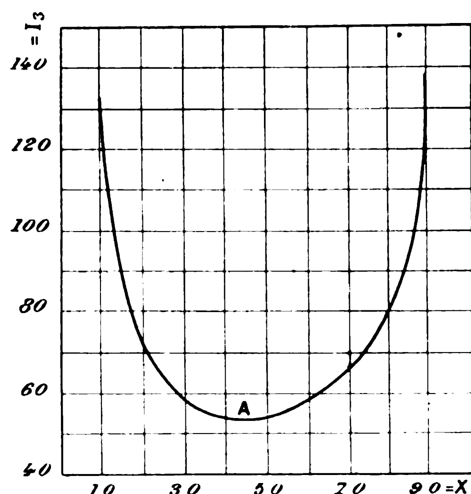


Fig. 2. — Courbe montrant la relation qui doit exister entre la résistance totale d'une ligne et le courant déwatté en avant produit par un moteur synchrone pour obtenir la même différence de potentiel aux deux extrémités d'une ligne dont la résistance est de 10,4 ohms. La charge est supposée non-inductive.

sont que de 10,4 p. 100 sans compensation sont avec différentes réactances :

P. 100 de la puissance apparente absorbée par la réactance totale	P. 100 des pertes dans la ligne
10	30
20	16
30	14
40	12
50	14
60	14,5
70	15,5
80	18

Il n'est pas toujours pratique d'insérer de telles réactances en circuit entre la génératrice et le moteur synchrone car la stabilité dn synchronisme peut en être affectée.

Il peut paraître étrange qu'il faille une aussi grande self-induction et un aussi gros moteur synchrone pour compenser une chute de tension de 10 p. 100; cela tient à ce que l'on est assez près de la puissance maxima de la ligne. On aurait une valeur beaucoup plus faible pour les puissances du moteur et l'inductance si la tension de la génératrice était maintenue à 11 000 volts à toute charge pour une tension de 10 000 volts à l'extrémité réceptrice. On arriverait à ce résultat en sous-excitant le moteur synchrone pour la marche sans charge.

Le réel avantage de l'emploi du moteur synchrone est beaucoup plus manifeste avec des charges inductives.

Revenons à l'équation (B) et remplaçons i_1 par sa valeur $i_3 - i_2$, on a

$$i_3 = i_2 + \frac{es}{R^2} - \sqrt{\frac{e^2 s^2}{R^4} - i^2 - \frac{2eri}{R^2} + \frac{e_0^2 - e^2}{R^2}} \qquad \text{(F)}$$

Prenons un facteur de puissance $\cos\varphi$ égal à 0,90 on a

$$i = 100 \quad i_1 = -i \operatorname{tg}\varphi = -48.$$

La tension aux bornes de la génératrice lorsqu'il n'y a pas de compensateur est de :

$$e_0 = \sqrt{(10000 + 10.40 + 48 \times 22,5)^2 + (2250 - 48 \times 10,4)^2} = 12200 \text{ volts}$$

et la perte par effet Joule dans la ligne,

$$10,4\,(100^2 + 48)^2 = 128000$$

c'est-à-dire 12,8 p. 100 de la puissance vraie utilisée.

Supposons qu'on veuille maintenir une tension de 11 000 volts environ à toute charge aux bornes de la génératrice avec un moteur synchrone sous-excité pour la marche à vide et surexcité pour la marche en charge ; nous négligerons la petite quantité d'énergie absorbée par le moteur et nous supposerons que la charge conserve toujours le même facteur de puissance.

En charge nous avons $i_2 = -48,1$ ampères ; si l'on prend l'équation (C) avec

$$e_0 = 11200 \quad e = 10000$$

on trouve pour i_3 une valeur de 52 ampères.

A vide le moteur devra prendre 52 ampères de courant déwatté en arrière et en charge fournit 52 ampères de courant déwatté en avant.

La figure 3 représente la variation du courant dans le moteur en fonction de la charge.

La perte dans la ligne n'est plus que de 10,4 p. 100 le courant n'étant que de

$$\sqrt{100^2 - 4^2} = 100 \text{ ampères.}$$

Plus le facteur de puissance de la charge est faible, plus l'emploi du moteur synchrone est avantageux.

On voit que la méthode de compensation de la chute de tension n'est en somme à re-

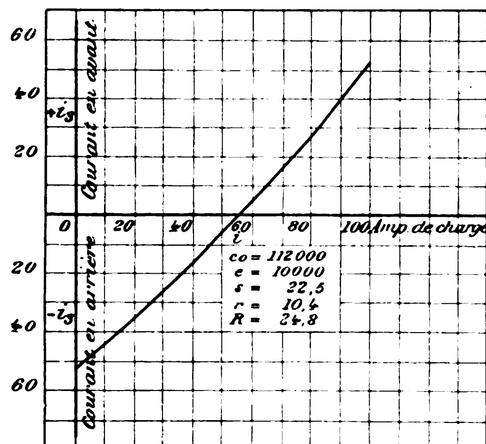


Fig. 3. — Courbe donnant l'intensité du courant déwatté à fournir par un moteur synchrone en fonction de la charge à l'extrémité réceptive (facteur de puissance constant et égal à 0,9) pour maintenir à toute charge une tension de 11 200 volts à l'extrémité génératrice et une tension de 10 000 à l'extrémité réceptive.

commander que si la charge est plus ou moins inductive ou lorsqu'il y a intérêt à obtenir une même tension tout le long de la ligne.

Il n'est par toujours désirable de maintenir la même tension aux deux extrémités de la ligne, ou une tension plus grande à l'extrémité réceptrice qu'à l'extrémité génératrice, à moins toutefois qu'il n'y ait aucun inconvient à employer de grandes résistances et des courants déwattés assez élevés.

Il est au contraire très facile de maintenir à l'extrémité génératrice une tension un peu plus élevée qu'à l'extrémité réceptrice quelle que soit la charge, en faisant varier l'excitation du moteur synchrone.

Les valeurs de la réactance, du courant d'avance et de la régulation du voltage pourront être approximativement fixées comme suit :

Avec une réactance d'une puissance apparente de 10 p. 100 de la puissance normale à pleine charge et le courant déwatté normal de compensation, la différence des tensions pourra être de 10 p. 100. Avec une réactance d'une puissance déwattée de 20 p. 100 et le courant déwatté normal de compensation, une régulation de 20 p. 100 peut être obtenue. Avec une réactance d'une puissance de 10 p. 100, et la moitié du courant déwatté en avance à pleine charge, une régulation de 5 p. 100 sera possible, et ainsi de suite.

Ces règles restent acceptables tant que le maximum de la puissance de la ligne est assez éloigné.

L'emploi du moteur synchrone comme compensateur de la chute de tension est surtout avantageux dans les distributions ayant de forts courants déwattés en arrière comme par exemple dans les installations ayant beaucoup de moteurs d'induction. Dans ce cas en effet non seulement le rendement de la distribution s'élève mais les pertes dans la ligne diminuent, tandis que si la charge n'est pas inductive, les pertes en ligne sont augmentées par l'adjonction du moteur synchrone pour l'égalisation du potentiel le long de la ligne. C. F. G.

Sur l'emplacement des interrupteurs de lampes dans les installations intérieures, par **A.-A. Campbell Swinton**. *The Electrician*, t. XLV, p. 17, 27 avril 1900.

Sous le titre « les conducteurs électriques et la poussière », l'auteur publie, dans le dernier numéro de *The Electrician* une observation qui, par les conclusions qu'il en tire, présente quelque intérêt.

Voici l'observation : il y a cinq mois, prenant possession d'un nouvel appartement, M. Swinton y fit installer un certain nombre de lampes alimentées par le réseau à courant continu à 200 volts de la Westminster C°. En particulier, il fit placer, dans une pièce, cinq lampes disposées en deux groupes, l'un de trois, l'autre de deux lampes, commandés chacun par un interrupteur. La nature du plafond ne permettant pas d'y fixer commodément les conducteurs d'alimentation, ceux-ci furent arrêtés à la cimaise et continués par cinq cordons souples passant dans des œillets isolants fixé au plafond et servant en même temps à la suspension des lampes. Deux de ces cordons ne tardèrent pas à se recouvrir de poussière, et malgré de fréquents époussetages, ils sont maintenant tout noirs ; en outre le plafond porte en regard d'eux une ligne noire très nettement visible, et les rosaces, qui cachent les connexions de ces cordons avec les conducteurs de dérivation sont également

recouvertes d'une couche de poussière noire. Au contraire les trois autres cordons flexibles sont aussi blancs qu'au moment de leur pose, bien qu'ils n'aient jamais été époussetés; le plafond ne présente aucune trace au-dessus d'eux et les rosaces correspondantes sont encore très propres.

Quelle pouvait être la raison de cette différence? En la cherchant, M. Swinton reconnut qu'il y avait une différence dans la disposition des deux interrupteurs commandant les deux groupes de lampes : l'interrupteur du groupe de trois lampes est sur le conducteur positif, celui de l'autre groupe sur le conducteur négatif. Quand les interrupteurs sont dans la position « circuit ouvert », les trois cordons souples restés indemnes de poussière, sont donc en communication avec le conducteur négatif, tandis que les deux cordons salis par la poussière restent en communication avec le conducteur positif. Or on sait que dans tout réseau à courant continu le conducteur négatif tend à se mettre à la terre et par suite au potentiel du sol ; par conséquent les trois fils souples qui y sont liés doivent être à un potentiel peu différent de celui du sol. Au contraire les deux cordons souples qui restent reliés au conducteur positif quand l'interrupteur correspondant est sur « circuit ouvert » doivent présenter une différence de potentiel de près de 200 volts avec le sol, et en effet M. Swinton a trouvé 170 volts par une mesure directe. Il s'en suit que tant que les lampes ne sont pas allumées, c'est-à-dire pendant la majeure partie du temps, ces derniers cordons possèdent une charge électrostatique assez considérable tandis que les premiers ne possèdent qu'une faible charge. En vertu de l'attraction qu'exercent les corps électrisés sur les particules de poussières environnantes, ceux-là doivent donc se recouvrir de poussière plutôt que ceux-ci. Telle est l'explication, d'ailleurs fort acceptable, que donne M. Swinton du phénomène, observé depuis bien longtemps, que les enveloppes des conducteurs positifs se salissent plus vite que celles des conducteurs négatifs.

De cette explication, M. Swinton tire une conclusion : c'est qu'il convient de placer les interrupteurs sur le conducteur positif. Il est vrai que dans les endroits humides, cette pratique peut avoir des inconvénients, les parties métalliques de l'interrupteur pouvant alors être détériorées par électrolyse. Mais, comme l'humidité est rarement à redouter dans les appartements, M. Swinton conseille fortement aux appareilleurs de suivre son conseil surtout dans les villes où, comme à Londres, l'atmosphère est chargée de particules de charbon. Comme le conseil est simple à suivre, espérons qu'on en tiendra compte. J. R.

TRACTION ÉLECTRIQUE

Le chemin de fer électrique Burgdorf-Thun, par **E. Thomann**. *Schweizerische Bauzeitung*, 1900, t. XXXV, nos 1 à 7.

Introduction. — En juillet dernier a été ouvert à l'exploitation le chemin de fer électrique de Burgdorf à Thun. Les moteurs sont ici directement alimentés par des courants triphasés. MM. Brown, Boveri et Cie qui ont fait les premières applications pratiques de ce système, mais sur des lignes de peu de longueur, ont préféré encore l'employer pour ce nouveau chemin de fer, malgré sa beaucoup plus grande importance. Il y a donc là une entreprise qui intéresse au plus haut point les électriciens, et l'article très documenté que publie à son sujet M. E. Thomann dans le *Schweizerische Bauzeitung* doit être analysé avec détails.

But et historique de l'entreprise. — La ligne de Burgdorf à Thun est une ligne de chemin de fer d'intérêt local, se raccordant à Burgdorf avec la ligne d'intérêt général Zurich-Berne-Genève. La longueur de la ligne nouvelle est de 40 km environ : elle fait gagner 12,66 km, soit 24 p. 100 sur le parcours Burgdorf-Thun par la grande ligne.

Il y a bien trente ans qu'on a parlé pour la première fois de construire une voie directe de Burgdorf à Thun. La société qui a mené à bien l'entreprise, a été fondée en novembre 1896 à Berne, au capital-actions de 2 740 000 fr, pour une dépense totale de premier établissement s'élevant à 3 828 000 fr.

A cause des faibles rayons des courbes et des rampes importantes que présente le tracé, la traction à vapeur aurait entraîné une dépense annuelle de charbon très considérable, qu'il faut évaluer, au minimum, à 52 000 fr pour cinq trains par jour. Chaque train supplémentaire aurait accru d'environ 10 000 fr la dépense de combus-

tible. Avec la traction électrique, on a pu prévoir pour la même dépense, dix trains de voyageurs, et deux trains de marchandises; et ce nombre sera augmenté une fois les premières années d'exploitation passées.

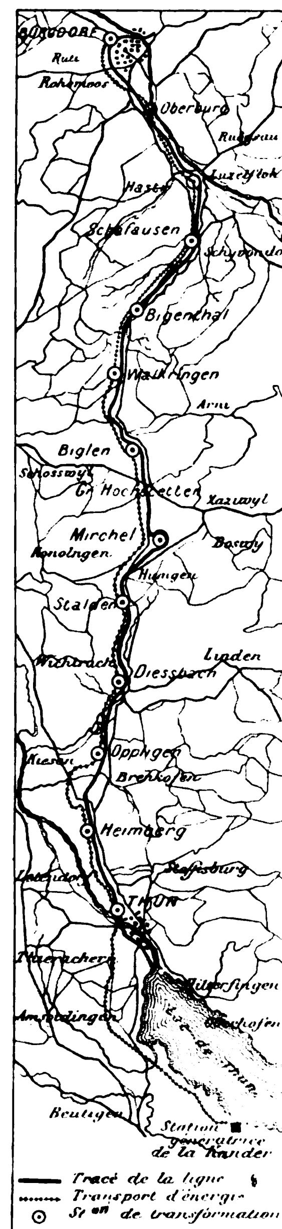


Fig. 1.

Des améliorations aux projets primitifs amenèrent à élever le capital à 5 300 000 fr, et on commença les travaux en juillet 1897.

La carte et le profil en long que nous reproduisons dispensent de faire une longue description de la ligne (fig. 1 et 2).

A Burgdorf la ligne B.-T. a une gare commune avec le chemin de fer central suisse ; à Konolfingen, il y a des moyens de transbordement avec la ligne Berne-Lucerne de la Compagnie Jura-Simplon. A Konolfingen se trouvent aussi les remises, les ateliers de réparations et les magasins. A Thun, les voies du chemin de fer B.-T. et du Central suisse sont séparées.

Il y a quinze stations.

Le chemin de fer B.-T. est à voie normale et à simple voie. Le rayon minimum des courbes est de 250 m. Les déclivités les plus grandes sont de 2,5 p. 100. Toutes les stations sont établies en palier sur une longueur de 200 m au moins.

En somme voici un tableau des données principales relatives à la ligne :

Largeur entre les rails	1.435 m
Longueur de la ligne	40,280 km
Longueur totale des voies.	50,900 km
Nombre de croisements simples	65
Nombre de croisements anglais ou doubles	4
Nombre des stations	15
Nombre de stations de jonction (comprises dans le chiffre total précédent)	4
Nombre de haltes	1
Distance moyenne entre deux stations .	2,87 km
» maxima » . .	2,27 »
» minima » . .	1,23 »
Rayon minimum des courbes	250 m
Longueur des alignements droits	25,780 km soit 64 p. 100
Longueur du tracé en courbes	14,500 » 36 »
dont : en courbes de rayons	
de 250 à 500 m	11,70 » 29 »
de 500 à 1000 m	1,95 » 4,85 »
au-dessus de 1000	0,85 » 2,15 »
Pente moyenne, de Burgdorf au point culminant.	1,144 »
Pente maxima » » . . .	2,5 »
» moyenne de Thun »	1,051 »
» maxima » » . . .	2,5 »
De la longueur totale, il y a :	
En palier, 9,680 km, soit.	24 p. 100
En pente de 0 à 10 mm par m : 9,500 km soit	23,5 »
» 10 à 20 » 12,700 »	31,5 »
» 20 à 25 » 8,400 »	21 »
Rails d'acier Vignole de longueur	12 m
Poids par mètre	36 kgs
Sont posés sur traverses en fer .	18 km soit 45 »
» en bois.	22 » . . 55 »
Poids par mètre :	
Voie posée sur traverse en fer. . .	137 kgs
» en bois . .	145 »

Choix du système de traction électrique. — Les conditions dans lesquelles se trouve la ligne B.-T. sont toutes spéciales à cause de sa longueur, du tonnage et de la vitesse des trains.

Le poids normal des trains est de 50 tonnes, mais l'installation a dû être dimensionnée de manière à permettre la circulation éventuelle d'un double train, soit de 100 tonnes. La vitesse est de 36 km à l'heure.

Ces chiffres diffèrent notablement de ceux relatifs à la ligne Stansstadt-Engelberg qui a 22,5 km et porte des trains de 30 tonnes au maximum, avec une vitesse de 20 km à l'heure.

La Société Motor, de Baden, qui, au moment de la construction de la ligne était en train de créer une grande usine de force motrice à 10 km environ du terminus de la voie ferrée à Thun (Kanderwerk), conclut avec la Société de la ligne B.-T., un marché pour la fourniture de l'énergie. La station produisait des courants triphasés et on dut examiner cette double éventua-

lité : convenait-il d'alimenter les moteurs du chemin de fer, directement avec des courants alternatifs, ou bien avec du courant continu. MM. Brown, Boveri et C[ie] adoptèrent la première solution, parce que, d'une part, les moteurs de traction à courants triphasés se comportent aussi bien que les moteurs à courant continu, et que d'autre part la transformation de courants à haute tension en courants utilisables sur la ligne de chemin de fer est beaucoup plus facile et moins coûteuse si on leur conserve la forme alternative.

On pouvait objecter les inconvénients de l'emploi de deux fils aériens. Pourtant aujourd'hui, dans tous les tramways à courant continu, on a l'habitude de doubler le fil, afin de se réserver une marge assez grande pour la section. Un double fil fait, évidemment, travailler les supports plus que ne le ferait un fil simple, mais avec les courants triphasés, les sections peuvent être notablement diminuées. Quant à la question d'esthétique, elle ne pouvait avoir d'influence dans le cas particulier.

Les moteurs à courants polyphasés ayant une vitesse pratiquement constante, on doit les dimensionner de manière qu'ils soient suffisants pour remorquer le train sur les pentes les plus fortes et à vitesse normale.

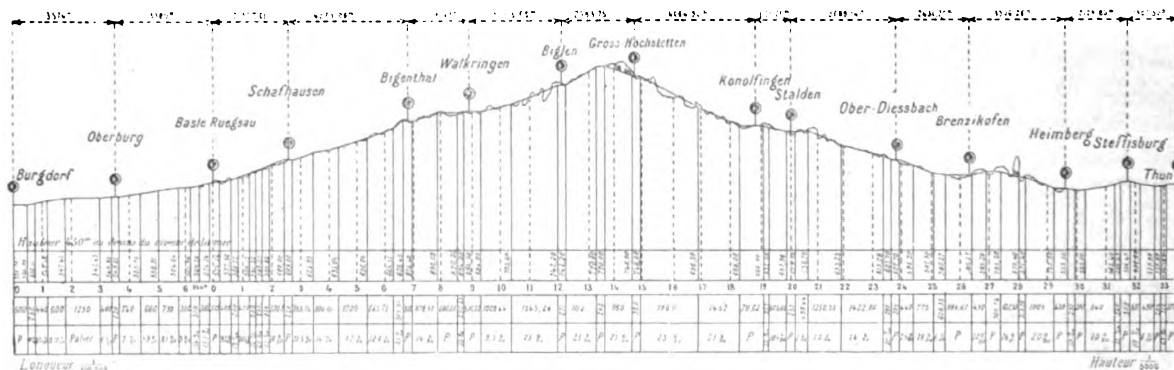


Fig. 2. — Profil en long de la ligne Burgdorf-Thun.

Cette qualité spécifique des moteurs est fort agréable pour le wattman qui ne peut dépasser la vitesse maxima assignée ni en palier, ni dans les descentes.

Dans les démarrages, le moteur à courants polyphasés se conduit aussi bien que le moteur à courant continu, comme on l'a reconnu aux essais sur les lignes du Görnergrat, d'Engelberg et Burgdorf-Thun.

Cependant, au point de vue du démarrage avec de fortes chutes de tension, le moteur à courant continu est plus élastique ; mais le moteur à courants alternatifs a des avantages qui compensent son infériorité à ce point de vue.

On a essayé de disposer les conducteurs de prise de courant entre les rails ; cela créait de telles complications et une si grande augmentation de dépenses, qu'on y a vite renoncé. MM. Brown, Boveri et C[ie] ont adopté le système de deux fils aériens avec retour par les rails.

La tension d'alimentation fut d'abord fixée à 500 volts.

Afin de pouvoir augmenter le tonnage et la vitesse des trains, sans employer plus de cuivre, on a finalement adopté 750 volts. Il faut féliciter les autorités suisses d'avoir autorisé cette tension, et surtout d'avoir déclaré nettement qu'elles permettraient des tensions encore plus élevées dans des cas particuliers. La tension primaire fut fixée à 16 000 volts composés.

L'économie générale du système est donc la suivante :

De la station centrale de la Kander, on envoie des courants triphasés à 16 000 volts par une ligne séparée qui court le long du chemin de fer. Ces courants sont transformés à 750 volts par un certain nombre de transformateurs fixes et envoyés dans deux fils aériens et dans les rails. Les moteurs sont reliés à ces conducteurs par deux archets et par les roues du truck.

Station génératrice. — La force motrice est empruntée à la rivière Kander. La chute, d'une hauteur de 63 m, donne un débit de 7 m³ au maximum et de 4 m³ au minimum. La station

comprend 6 unités de 900 chevaux, y compris les réserves. Les turbines sont à axe horizontal et construites par Escher, Wyss et Cie ; les alternateurs triphasés viennent des usines Brown, Boveri et Cie. Chaque génératrice a son excitatrice commandée directement, mais le champ magnétique des excitatrices est excité à son tour par deux petites dynamos à courants continus, mues par des turbines spéciales. Les courants triphasés sont directement engendrés à 4000 volts et à une fréquence de 40 périodes par seconde ; on en distribue un peu sous cette tension dans le voisinage, mais la plus grande partie est élevée à 16000 volts par des transformateurs statiques installés dans une salle spéciale et est distribué à Burgdorf, à Berne et au chemin de fer. L'installation est divisée en deux parties : charge constante (lumière) et charge variable (force motrice et chemin de fer), et chaque génératrice peut travailler sur l'un ou l'autre circuit. Les turbines ont des régulateurs hydrauliques et on a pris, de plus, des précautions spéciales pour adoucir l'effet des coups de bélier dans les conduites.

Canalisation à haute tension. — De la station génératrice jusqu'à la ville de Thun, l'énergie est transmise à 16000 volts, par dix conducteurs supportés par des pylônes en treillis, fondés sur un massif de béton et distants de 50 m ; il y a 3 conducteurs pour la ville de Berne (force motrice), 2 conducteurs pour la ville de Berne (lumière), 2 conducteurs pour la ville de Burgdorf (force motrice et lumière, après transformation en courant continu) et trois conducteurs pour le chemin de fer B. T. Chacune de ces lignes a son interrupteur propre, à l'usine.

Au voisinage de Thun, la ligne de Berne se sépare de la ligne de la ville de Burgdorf et de celle du chemin de fer. Cette dernière a été construite très solidement, et à cause de la haute tension, on a dû lui faire suivre un tracé spécial, pourtant aussi voisin que possible de celui du chemin de fer.

La canalisation à haute tenssion a, depuis la station de la Kander jusqu'à Burgdorf une longueur totale de 48 km : elle se compose de 3 conducteurs de cuivre de chacun 3 mm de diamètre. La hauteur des poteaux est telle que le fil le plus bas ne se trouve jamais à moins de 6 m du sol. La distance entre les poteaux atteint 50 m, sauf dans certaines traversées.

Les isolateurs sont à double cloche et de grandes dimensions. Tous les cinq poteaux il y a un parafoudre de poteau, tandis que les parafoudres ordinaires ne sont disposés qu'au commencement et à la fin de la ligne et aux sous-stations. A peu près au milieu de la canalisation, on a ménagé un interrupteur permettant de la diviser en deux sections, ce qui permet la recherche de certains défauts. La section de la canalisation est partout la même ; les raccordements avec les sous-stations se font à l'aide de conducteurs de 4 mm de diamètre. Le plan général indique l'emplacement de ces sous-stations. La plus grande longueur des conducteurs de raccordement est de 750 m ; on la rencontre entre Konolfingen et Grosshöchstetten. Les connexions de ces conducteurs de raccordement sont faites directement sur la ligne, sans interposition d'interrupteurs ou de fusibles.

Sous-stations de transformation. — Pour fixer le nombre des sous-stations, on s'est placé aux différents points de vue suivants :

1° La distance entre les sous-stations doit être telle que la perte de tension dans les conducteurs de contact ne dépasse pas une certaine valeur donnée ;

2° On doit éviter un trop grand nombre de sous-stations, afin de ne pas trop diminuer le rapport du nombre des transformateurs qui travaillent au nombre des transformateurs installés. En effet, il faut bien se rendre compte de ce fait que les transformateurs entre lesquels se trouve un train, et peut-être les plus proches voisins de ces derniers sont les seuls à travailler, tandis que les autres ne fournissent pratiquement aucun courant. De plus, si on augmente le nombre des transformateurs, on ne peut que diminuer la puissance maximum que doit fournir chacun d'eux ;

3° On a cherché à placer, autant que possible, les postes de transformation aux stations mêmes du chemin de fer, afin de diminuer les achats de terrains et permettre une inspection régulière des transformateurs.

On a adopté comme sectionnement rationnel le nombre de 14 sous-stations. Les sous-stations extrêmes sont chacune à 500 m de la fin de la ligne. Pour les autres, la distance moyenne est de 3 km ; la distance maxima est de 3,4 km, la distance minima, 2,4 km. En adoptant ce principe qu'il n'y aurait pas plus d'un train entre deux sous-

stations consécutives, le calcul ne donnait que de faibles différences entre les capacités de chaque sous-station ; aussi s'est-on résolu à les équiper toutes d'une façon identique.

Les figures 3, 4 et 5 font saisir l'installation de ces sous-stations. Les transformateurs sont disposés sur une fondation en béton d'une hauteur telle que le remplacement d'un transformateur avarié se

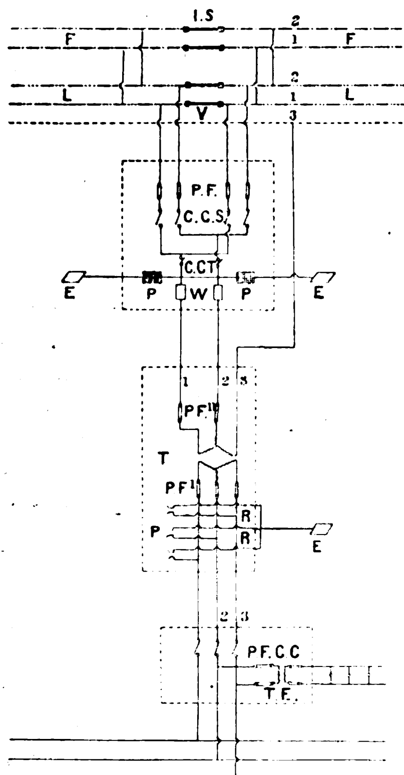


Fig. 3. — Schéma des connexions des stations de transformation.

I.S, isolateur de section. — F. feeders. — L, conducteurs de contact. — V, rails. — P.F, sûretés. — C.C.S, interrupteur tripolaire de section. — P, parafoudres. — W, compteur. — P.F^II, sûretés pour le secondaire (750 volts). — R, résistances. — T, transformateur. — P.F^I, sûretés pour le primaire (15 000 volts). — S, interrupteur de secours. — P.F.C.C, sûretés et interrupteurs. — T.E, transformateur d'éclairage. — E, terre.

fasse très facilement et très rapidement. On amène le transformateur neuf sur une voiture spéciale et on le met à sa place dans la cabine à l'aide d'un petit pont en planches.

L'interrupteur de secours est disposé sur un poteau particulier, suffisamment éloigné des transformateurs et peut être manœuvré à l'aide d'une manivelle.

Par station, il y a un transformateur triphasé de 350 kilowatts, puissance correspondant à un train double. Le rapport de transformation est 16 000/750 volts. Les enroulements sont réunis en étoile. Le transformateur est à trois colonnes et baigne dans l'huile. L'entrée des conducteurs dans la cabine des transformateurs se fait par tuyaux de fontaine. Les parafoudres sont des parafoudres à cornes, laissant une distance de 18 mm à franchir par l'étincelle. Pour que le courant de décharge ne prenne pas une trop grande valeur, on a mis des résistances liquides en série avec les parafoudres. La prise de terre est faite sur les rails.

Les conducteurs secondaires sont à leur sortie du transformateur munis de fusibles : le pôle relié à la voie possède aussi le sien afin que le transformateur puisse être complètement isolé du réseau. La connexion avec les rails est faite au moyen d'un conducteur de 8 mm qui sert en même temps à mettre à terre la caisse du transformateur et la tour métallique dans laquelle elle est disposée. Les deux autres bornes sont reliés aux conducteurs de contact, au-dessus de la voie, par l'intermédiaire d'appareils de connexion et de mesure enfermés dans une caisse de tôle portée par des poteaux spéciaux. Il a paru bon de sectionner les conducteurs de contact pour localiser les accidents éventuels. Les coupures sont faites de préférence dans le voisinage des sous-stations ; en effet, là, les connexions sont faciles à faire, puisque le transformateur peut alimenter la section de droite ou celle de gauche, ou les deux en même temps. On adopte donc une disposition d'après laquelle les deux conducteurs secondaires passent d'abord par un interrupteur principal, puis se divisent en deux circuits possédant chacun son interrupteur double et ses fusibles. Ces circuits aboutissent respectivement à droite et à gauche de l'isolateur de section des conducteurs de contact.

Les figures 4 et 5 montrent comment sont montés les feeders lorsqu'il les faut employer. En même temps qu'on met hors-circuit les conducteurs de contact, on peut mettre hors-circuit les feeders.

Afin de mieux relier électriquement la voie au sol, on a disposé en des endroits bien choisis, des plaques de terre baignant dans un courant d'eau.

Conducteurs de contact. — La ligne aérienne

se compose de deux conducteurs de cuivre, de 8 mm de diamètre, qui sont suspendus à des fils métalliques transversaux. Ces derniers sont supportés par des poteaux en sapin plantés le long de la plate-forme. Aux stations principales, les poteaux sont en fer. L'isolement des

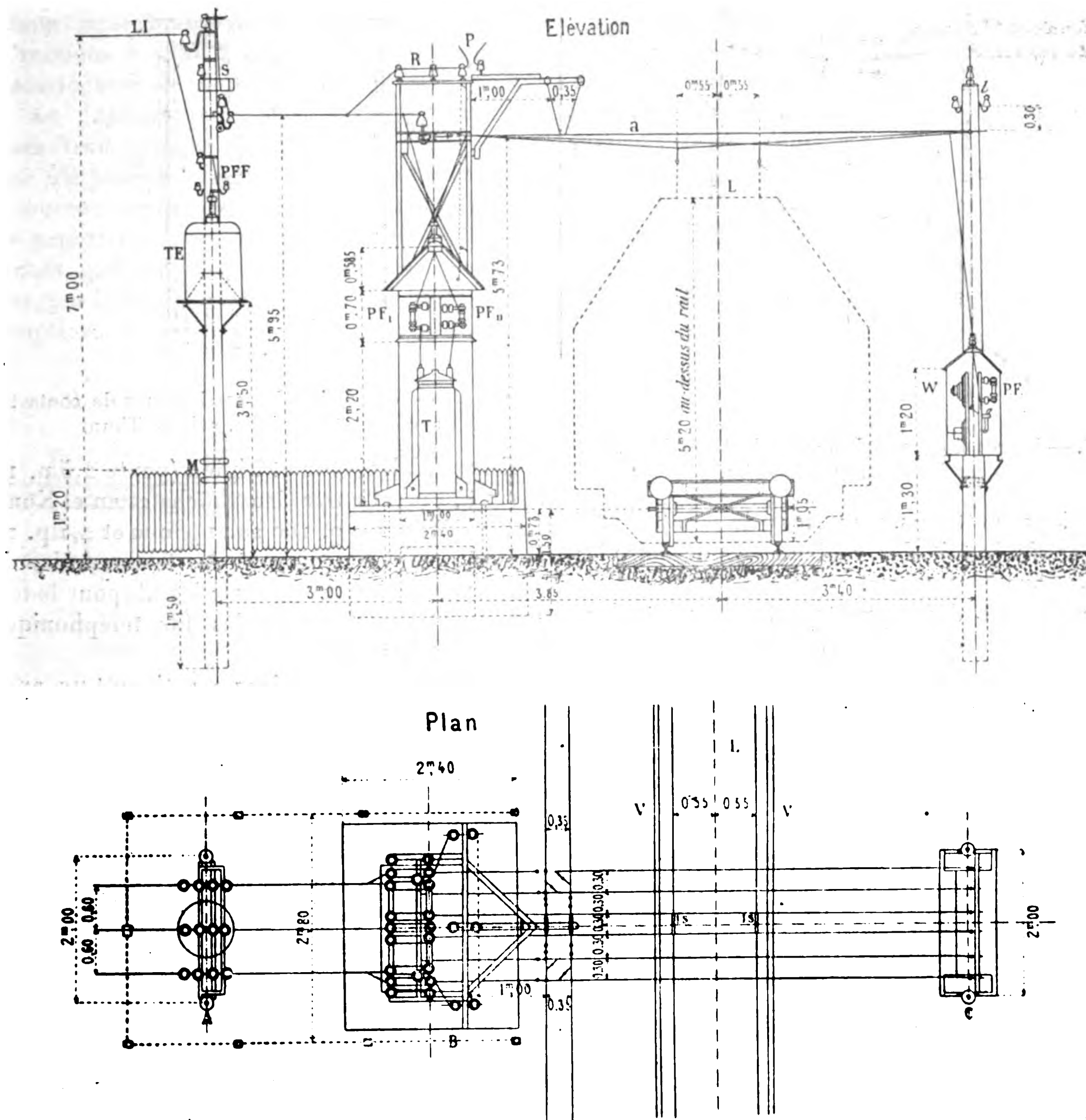


Fig. 4 et 5. — Station de transformation normale et disposition des conducteurs.

P.F, sûretés. — P, parafoudres. — W, compteur. — P.F^I, sûretés pour le primaire (15 000 volts). — P.F^II, sûretés pour le secondaire (750 volts). — T, transformateur. — S, interrupteur de secours. — T.E, transformateur d'éclairage. — L^I, conducteurs haute tension. — *a*, conducteurs d'alimentation. — L, conducteurs de contact. — *l*, conducteurs pour les signaux. — P.F.F, sûretés fixes. — M, manœuvre de l'interrupteur de secours. — I.S, isolateurs de section. — A, poteaux jumelés avec interrupteur de secours. — V, rails. — B, tour des transformateurs. — C, poteaux jumelés avec caisse pour les appareils secondaires.

conducteurs entre eux et avec la terre est double. Tous les isolateurs ont été essayés à 6 000 volts. Les fils transversaux sont en acier et ont un diamètre de 6 mm ; ils sont attachés à des tendeurs spéciaux permettant un déplacement latéral de 30 cm, de sorte qu'on peut toujours disposer les fils de contact dans la position convenable au-dessus de la voie.

Les conducteurs des stations de Konolfingen et Thun, de même que ceux des remises de Konolfingen, peuvent être isolés des circuits de ma-

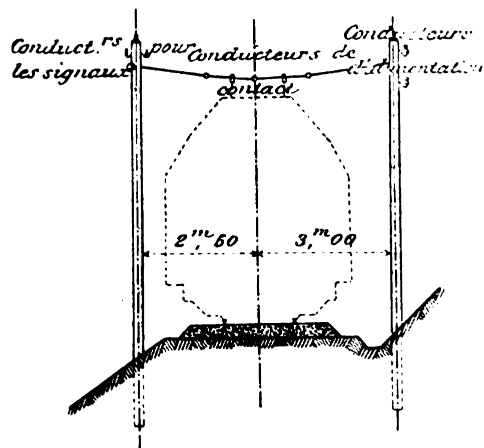


Fig. 6. — Suspension normale des conducteurs de contact dans les alignements droits.

nière à permettre aux ouvriers de monter sans danger sur le toit des véhicules et de faire les réparations nécessaires.

La distance des supports entre eux est d'en-

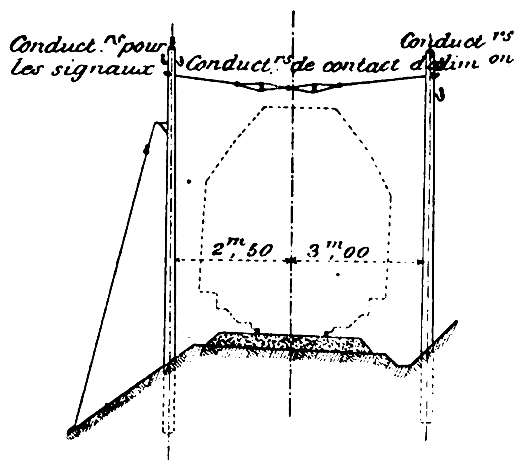


Fig. 7. — Suspension normale des conducteurs de contact dans les courbes.

viron 35 m. Pour augmenter la sécurité, cette distance est diminuée aux croisements des chemins. Au droit des supports, les conducteurs sont à une hauteur de 5,20 m au-dessus de la plate-forme : leur flèche est au maximum de 0,35 m, de telle sorte que la hauteur minima au-dessus de la plate-forme est de 4,85 m et que les fils restent toujours en dehors du gabarit du matériel roulant. En tunnel, on rapproche les points d'appui de manière à diminuer les flèches. Les figures 6, 7, 8 et 9 indiquent les profils types de pose.

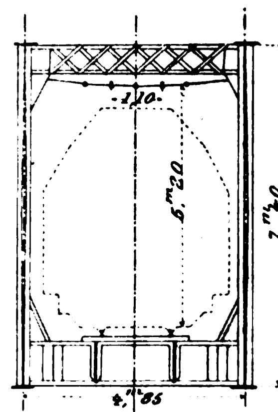


Fig. 8. — Suspension des conducteurs de contact sur le pont de l'Aare, pris de Thun.

Entre Walkringen et Biglen (pente 2,5 p. 100 sur 1 445 m) et entre Grosshöchstetten et Konolfingen (pente 2,6 p. 100 sur 1 980 m et 2,1 p. 100 sur 1 452 m) on a disposé des feeders. Une des rangées de poteaux supporte les fils pour le télégraphe et les signaux ; les fils téléphoniques seront posés plus tard.

Les croisements aériens constituent un appa-

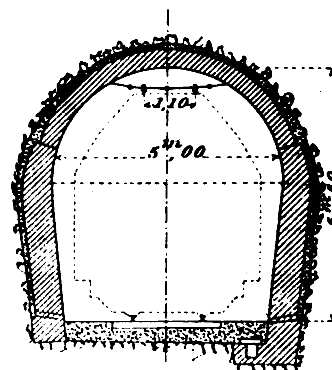


Fig. 9. — Suspension des conducteurs de contact dans un tunnel.

reillage intéressant. MM. Brown, Boveri et Cie ont fait breveter la disposition de la figure 10. Les locomotives et les automobiles sont munies de quatre archets, reliés électriquement deux à deux, chaque groupe prenant le courant sur le même conducteur. Les archets de polarité différente sont reliés par deux axes d'isolation convenable ; il y a à chaque extrémité du toit un archet double. Voici comment se fait la prise du courant à un croisement :

Quand un train, venant de la gauche de la figure, s'engage dans le croisement pour continuer directement son chemin, les courants sont d'abord recueillis normalement par les quatre archets. Si le double archet d'avant arrive entre les sections A et B, l'archet droit avant quitte le conducteur de contact inférieur pour glisser sur un conducteur neutre, isolé de tous les autres (trait ponctué de la figure). L'archet arrière n'a pas encore atteint alors la section A. Le courant est pris par 3 archets : sur le conducteur supérieur, par l'archet gauche arrière et l'archet gauche avant, sur le conducteur inférieur, par l'archet droit arrière. Il n'y a pas d'interruption de courants. Aussitôt que l'archet double avant a passé la section B, ses deux moitiés sont de nouveau en contact normal avec leurs conducteurs propres d'alimentation. Tout se passe d'une manière analogue pour l'archet double arrière. La seule condition pour qu'il n'y ait pas interruption de courant, c'est que la distance entre les deux archets doubles, comptée suivant l'axe de la voiture soit inférieure à la distance entre les deux sections A et B.

Le passage aux courbes se fait sans étincelles : il n'y a aucune difficulté pour arrêter le train directement sous le croisement ni pour y changer le sens de marche, cela est de grand intérêt aux stations.

Retour par les rails. — La connexion électrique des rails diffère un peu de celle qui est partout employée pour les tramways : le procédé usité ici est breveté par MM. Brown, Boveri et Cie. Il consiste à se servir comme éclissage électrique de l'éclissage mécanique lui-même. Pour cela les surfaces de contact des extrémités des rails et des éclisses sont polies avec le plus grand soin, et enduites d'une pâte métallique conductrice et protectrice contre la rouille : on boulonne ensuite les éclisses à la manière ordinaire. Il n'y a donc là aucun conducteur dont l'attache soit délicate et on peut facilement changer la voie. Il est très facile de contrôler et de resserrer les boulons d'éclisses : la connexion peut donc toujours être maintenue en bon état, des essais et des mesures ont été faits pendant un an au sujet de l'action de la pâte métallique au point de vue de la protection contre la rouille et les résultats ont répondu à toute les espérances.

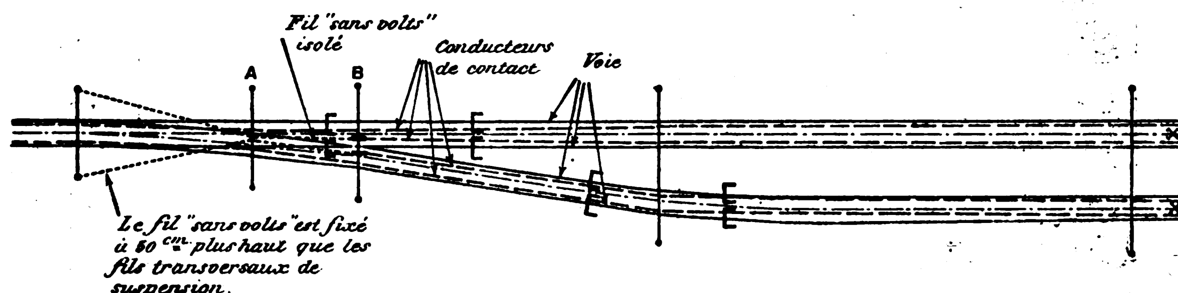


Fig. 10. — Croisements aériens.

On a relié les deux files de rails, tous les 96 m à l'aide de conducteurs de cuivre de 8 mm fixés par l'intermédiaire d'oreilles de bronze et de pâte métallique. Il n'y a pas de feeders de retour.

Matériel roulant. — Pour les voyageurs, on a fait des voitures automotrices, pour les marchandises, des locomotives. Comme le chemin de fer électrique a quatre points de jonction avec les chemins de fer à vapeur, les trains du premier n'ont pu être diminués autant qu'il aurait été désirable pour l'exploitation économique des installations électriques.

Les automotrices contiennent 66 places assises, et peuvent remorquer 20 tonnes à la vitesse de 36 kilomètres à l'heure, sur une pente de 2,5 p. 100, la remorque de 20 tonnes correspond à 60 à 70 voyageurs. Si on accouple deux trains ainsi composés, on arrive à une capacité d'environ 280 voyageurs. Les voitures automotrices à voyageurs ont la forme ordinaire des voitures de chemin de fer. Les plate-formes sont réservées au conducteur. Sur le toit se trouvent les prises de courant à archet. On a adopté l'archet parce que cet organe prend automatiquement la position convenable lors des changements de sens de marche et qu'il ne déraille pas. Nous avons vu précédemment comment sont disposés et reliés les quatre archets de

prise de courant. La vitesse élevée de marche a obligé à rechercher un procédé spécial pour la constitution de la partie qui frotte sur le fil. On emploie des tubes métalliques à section triangulaire dont on fait changer par simple rotation la surface qui s'appuie sur le conducteur. On a parcouru plus de 4000 kilomètres sans changer ces tubes. Pour réduire la masse des archets, on les a constitués par un rectanle en tubes d'acier à parois minces, auquel on a donné la raideur nécessaire par un entretoisement de fils d'acier disposés en croix de Saint-André. Sur l'axe de rotation, existe un ressort spiral qui se bande dès que l'archet s'incline en avant ou en arrière. Chacun des quatre essieux de la voiture automotrice est pourvu d'un moteur triphasé de 60 chevaux, prenant appui d'un côté sur l'essieu, de l'autre sur le châssis et par l'intermédiaire de ressorts. Les moteurs sont enfermés dans une caisse en fonte, laquelle pré-

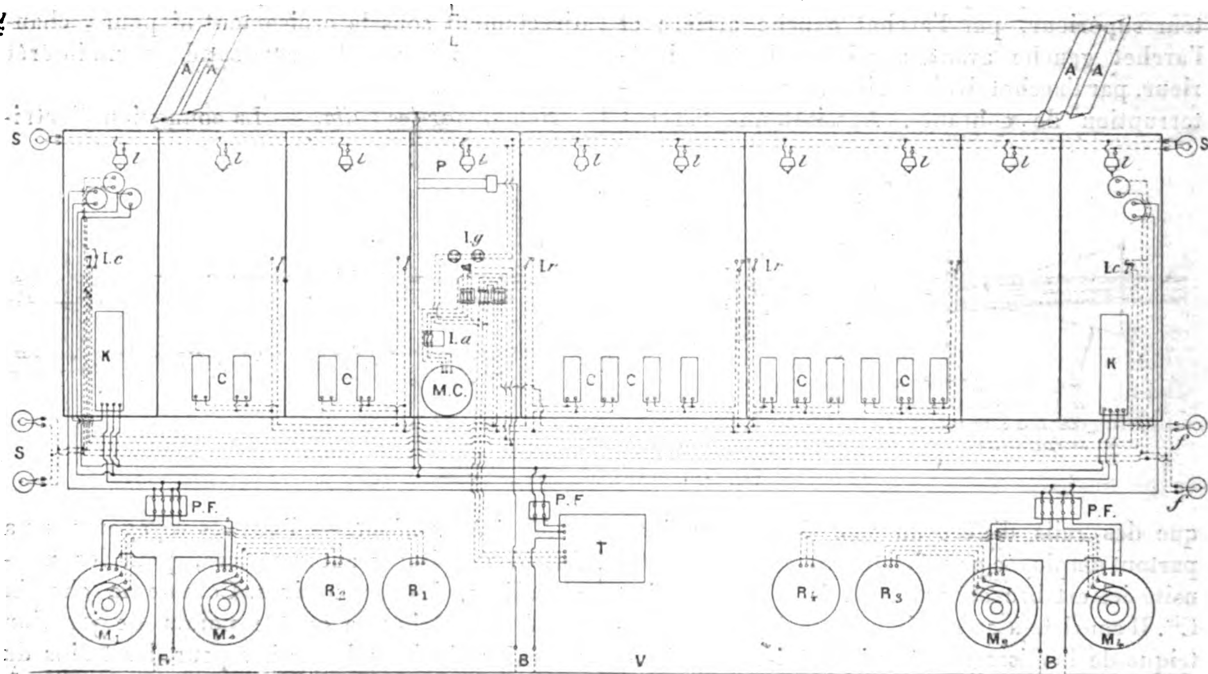


Fig. 11. — Schéma des connexions dans une voiture automobile.

L, conducteurs de contact. — A, archets. — P, parafoudres. — *l*, lampes. — S, lanterne signal. — I.*c*, interrupteur du moteur du compresseur. — I.*g*, interrupteur général pour le chauffage et l'éclairage, et sûretés. — I.*a*, interrupteur automatique. — I.*r*, interrupteur pour le chauffage. — C, chaufferettes. — M.C, moteur du compresseur. — K, contrôleurs. — P.F, sûretés. — R, résistance. — T, transformateur. — *f*, fiches de contact. — M, moteurs. — V, rails. — B, contact à la masse.

sente des regards permettant de visiter les bagues et les balais pendant la marche même. Les moteurs sont munis de paliers à bagues, ce qui est une nouveauté pour les moteurs à traction. La figure 11 fait bien comprendre le trajet des courants dans la voiture.

Au démarrage, le wattmann, faisant tourner d'un quart de cercle la manette du controlleur, ferme le circuit des quatre stators groupés en parallèle. En continuant à tourner la manette, il met progressivement hors-circuit les résistances de démarrage ; finalement il court-circuite les rotors et la vitesse du train arrive à sa valeur normale. Pour arrêter, les opérations sont inverses. Les changements de marche se font par le changement de deux conducteurs dans le stator et pour cela, il y a dans le controlleur un organe spécial. Sur la plate-forme du wattmann se trouvent les appareils de mesure et un tachymètre. Les trains étant pourvus du frein Westinghouse, on a disposé dans l'automotrice les organes nécessaires à la compression de l'air. Le compresseur est mû par un moteur spécial de 4 chevaux, alimenté sous 100 volts, par un transformateur de 750/100 volts fixé aux longerons. La mise en marche et l'arrêt du moteur du compresseur sont commandés à la main ou automatiquement. Le même trans-

formateur donne à la voiture l'éclairage et le chauffage. En dehors du Westinghouse, chaque automotrice possède encore un frein à vis et à 16 sabots manœuvrables de chaque plate-forme. Le freinage, en cas d'emballage, est fait par les moteurs eux-mêmes, puisqu'ils agissent comme des freins puissants aussitôt que leur vitesse croît au-dessus du synchronisme. Ce freinage a lieu automatiquement ; c'est là un phénomène caractéristique.

Voici les données particulières des automotrices :

Nombre de places	66
dont : 2e classe	16
1re classe	50
Nombre d'essieux	4
Ecartement des roues d'un boggie	2,2 m
Distance d'axe en axe des boggies	9,5 »
Longueur entre tampons	15,3 »
Nombre de moteurs	4
Puissance de chaque moteur	60 chx
Puissance totale	240 »
Tension par moteur	750 volts
Nombre de tours des moteurs	600
Rapport des engrenages	1/3
Vitesse à l'heure	36 km
Poids total	32 tonnes
Poids par place offerte	485 kgs
Poids de la voiture seule	22 tonnes
Poids de l'équipement électrique	10 »
Poids par moteur	1500 kg

La locomotive est à deux essieux : la charge maxima par essieu est de 15 tonnes. Le châssis est analogue à celui d'une locomotive à vapeur ; il en est de même des boîtes à graisse, de la suspension des freins et des ressorts. Les deux moteurs, de chacun 150 chevaux, du type des des moteurs fixes ordinaires, sont placés aux deux extrémités d'un arbre unique tournant dans des paliers fixés solidement sur le châssis, entre les deux essieux. Deux pignons sont fous sur cet axe et on peut embrayer l'un ou l'autre, à l'aide d'un embrayage à griffes. En regard de ces pignons sont placées deux roues d'engrenages, calées sur un arbre disposé au-dessous de l'arbre des pignons. L'une des paires d'engrenages a un rapport de réduction de $\frac{1}{1.88}$ et correspond à une vitesse de 36 km à l'heure ; l'autre, un rapport de $\frac{1}{3,72}$ et correspond à la petite vitesse.

L'arbre auxiliaire communique le mouvement aux essieux à l'aide de bielles. Le diamètre des roues motrices est de 1,230 m ; le nombre de tours des moteurs par minute est 300.

La partie fixe des moteur est invariablement fixée au châssis de la locomotive.

Pour le réglage aux démarrages, on se sert pour les deux moteurs d'une résistance commune mise en circuit comme sur les automobiles.

Les locomotives sont pourvues du frein Westinghouse, dont la pompe à air est commandée par un petit moteur spécial. En plus du Westinghouse, on a laissé des freins à sabots. Tous les appareils de manœuvre sont en double, de sorte que la locomotive n'a jamais besoin d'être tournée. Toute la machinerie est enfermée dans une caisse, sur laquelle sont fixés les quatre archets de prise de courant.

Les principales données de ces locomotives sont résumées dans le tableau suivant :

Nombre d'essieux	2
Écartement des essieux	3,14 m
Longueur entre tampons	7,80 »
Nombre de moteurs	2
Puissance de chaque moteur	150 chx
Puissance totale	300 »
Tension par moteur	750 volts
Nombre de tours des moteurs	300 »
Rapport des engrenages	$\frac{1}{1,88}$ et $\frac{1}{3,72}$
Diamètre des roues motrices	1,230 m
Poids total = poids adhérent	29,6 tonnes
Poids de l'équipement électrique	10 »
Poids d'un moteur	4 »
Vitesse à l'heure	18 et 36 km

Le dépôt renferme actuellement :

2 locomotives électriques, poids de chacune	29,6 tonnes
6 automobiles à 4 essieux, série BC[1], à 66 places	32 »
1 voiture de remorque à voyageurs, série B, à 24 places	9,8 »
2 voitures de remorque à voyageurs, série BC[2], à 55 places	14 »
2 voitures de remorque à voyageurs, série C[2], à 70 places	13,2 »
2 voitures de remorque à voyageurs, série C, à 40 places	9,65 »
3 voitures mixtes (voyageurs-bagages-poste), série CFZ, à 20 places	13,2 »

Il y a un certain nombre de wagons à marchandises et une locomotive à vapeur de secours.

L'éclairage et le chauffage des voitures de re-

marque sont assurés à l'aide de courants sous 100 volts pris au transformateur qui est installé sur les locomotives et les automobiles.

Eclairage électrique des stations. — Il y a, par station, 18 lampes à incandescence, à Burgdorf, il y a en plus 6 lampes à arc. Les circuits d'éclairage sont à 150 volts. Les transformateurs sont reliés soit à la haute tension, soit à la basse tension d'alimentation du chemin de fer. Les transformateurs sont de 10 kilowatts à Burgdorf et Konolfingen et de 1,6 kilowatts dans les autres stations. Dans le cas du couplage sur le secondaire du circuit des moteurs, les démarrages produisent une baisse très notable de la lumière, mais afin de ne pas augmenter les frais de premier établissement, on a passé sur cet inconvénient.

Ateliers de réparation. — L'atelier, à Konolfingen, est mis en mouvement par un petit moteur triphasé. Des transformateurs peuvent donner des courants sous 750 ou 150 volts pour les essais de moteurs, d'appareils, de chaufferettes, etc. Dans les remises à voitures, on a ménagé des fosses de visite.

Calculs. — Pertes. — Rendements. — Pour une automobile, avec un train de 50 tonnes, une vitesse de 36 km à l'heure et sur la rampe maxima à 2,5 p. 100, la puissance est d'environ 240 chevaux sur l'arbre des moteurs. Les moteurs ont été calculés pour pouvoir donner cette puissance sous la tension minima supposée de 600 volts. Il résulte de là que les moteurs s'échauffent fort peu au démarrage. Pour se rendre compte de la manière dont se comporteraient les moteurs en cas de surcharge, on a fait un train de 70 tonnes. Cette surcharge de 40 p. 100 fut bien supportée par les moteurs. Un train normal peut donc, dans le cas d'accident à un moteur, être mis en mouvement par les trois autres, et même par deux seulement sur de faibles rampes.

Le rendement des moteurs, y compris les engrenages est :

Pour 1/3 de charge	71 p. 100
» 2/3 »	78 »
» pleine charge	85 »

La puissance d'une locomotive est évaluée pour un train de 100 tonnes, y compris la locomotive, une vitesse de 18 km à l'heure, une rampe de 25 mm par mètre à environ 300 chevaux.

Les rendements de l'axe du moteur à l'essieu sont environ :

Pour 1/3 de charge	68 p. 100
» 2/3 »	76 »
» pleine charge	82 »

On a basé le calcul des conducteurs de contact sur la demande moyenne de courant correspondant à un train situé à égale distance de deux stations de transformation. L'intensité correspondant à un train double est en chiffres ronds, 500 ampères, on en prend donc la moitié pour le calcul. Au point de vue de la conductibilité des rails et de l'influence sur le partage symétrique des courants, dans les trois phases, on s'est servi des résultats d'essais sur le chemin de fer d'Engelberg : on ne fait pas d'erreur sensible en faisant les calculs comme pour une canalisation à courants triphasés ordinaires. On a admis pour la chute de tension, dans le cas d'un train double, la valeur de 18 p. 100 qui semble suffisante, eu égard à la rareté du cas. En fait, avec la charge normale de 50 tonnes par train de voyageurs, la chute est d'environ 9 p. 100 et avec un train de marchandises, 11 p. 100. Comme, en général, il n'a pas été ménagé de croisements entre des postes de transformation, il ne peut pas se trouver entre eux des trains marchant en sens inverse.

La mise en charge d'un poste de transformation commence aussitôt qu'un train a dépassé le poste précédent, éventuellement, un peu plus tôt, mais dans une très faible proportion. Plus le train s'approche du poste, plus aussi la charge de celui-ci croît, et cette charge atteint son maximum quand le train est au droit du poste. Le cas le plus défavorable est celui de deux trains se dirigeant en sens inverse et se croisant devant le poste de transformation. Le temps pendant lequel un transformateur est en charge ne dépasse pas 10 minutes : la charge se reproduit 24 fois par jour, s'il y a 12 trains par jour dans chaque sens : c'est donc peu de chose, aussi a-t-on pris des transformateurs de puissance un peu plus faible que celle qui correspondrait à la pleine charge. L'expérience a fait connaître les dimensions convenables, et des mesures ont montré que, même en été, la température ne s'élevait pas trop, en service forcé. La perte d'énergie dans la marche à vide des transformateurs, atteint 8,5 kilowatts; la

chute de tension est au maximum 10 p. 100.

La canalisation à haute tension a été calculée pour une chute de tension maxima de 6 p. 100. Plus les transformateurs sont éloignés de l'usine génératrice, plus la tension secondaire doit être basse ; mais, pour faciliter les rechanges, tous les transformateurs sont identiques : on diminue le rapport de transformation par une légère diminution des bobines primaires.

J. Guillaume.

Connecteur de rails « The Eureka ».

Ce connecteur qui se recommande par sa simplicité se compose de deux têtes que l'on réunit par un ou plusieurs conducteurs métalliques,

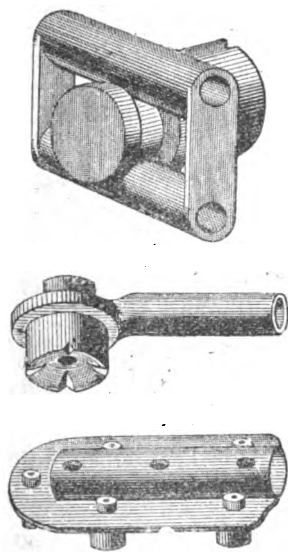


Fig. 1 à 3. — Têtes de connecteurs de rails « The Eureka »

de vieux fils de trôlet par exemple. Chaque tête, dont trois modèles sont représentés par les figures ci-jointes, se compose d'une monture dans laquelle on soude soit 2 fils comme dans le modèle n° 1, soit un seul fil comme dans les modèles 2 et 3, et d'un bloc de cuivre (modèles 1 et 2) ou de plusieurs blocs de cuivre (modèles 3). Chaque bloc de cuivre, de forme cylindrique, est soudé à la tête par une de ses extrémités ; l'autre extrémité est munie d'encoches ; suivant l'axe se trouve une pointe d'acier de forme spéciale dont une extrémité et dépasse le bloc de cuivre.

Pour fixer le connecteur, on introduit le bloc de cuivre dans un trou percé dans le rail à cet effet ; en frappant à coups de marteau sur la pointe d'acier, celle-ci s'enfonce dans le bloc et écrase le cuivre qui vient ainsi en contact intime avec l'âme du rail ; en même temps et par suite de la forme de la pointe d'acier, l'extrémité munie d'encoches du bloc de cuivre s'élargit et donne une sorte de bourrelet empêchant le connecteur de se détacher du rail.

Ce mode de fixation n'exige donc qu'un marteau pour tout outillage ; de plus il permet d'effectuer toutes les opérations nécessaires à la mise en place en ne mettant à découvert qu'un seul côté du rail. Le connecteur « The Eureka » présente donc à ce point de vue des avantages très marqués sur les nombreux systèmes employés ou proposés jusqu'ici.

ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE

Sur l'association des lampes à arc de différents types, par **Paul Girault**. *L'Industrie Électrique*, t. IX, p. 109 et 137, 25 mars et 10 avril 1900.

L'auteur examine quelle combinaison on peut faire dans les distributions à potentiel constant et dans les distributions à courant constant des lampes à arc actuellement employées, lampes qui peuvent se ramener à trois types principaux : 1° les *lampes à intensité constante*, dont le réglage tend à maintenir constante l'intensité I du courant qui les traverse ; 2° les *lampes à potentiel constant* dont le réglage tend à maintenir constante la différence de potentiel u aux bornes de la lampe ; et 3° les *lampe à résistance apparente constante*, ordinairement appelées improprement *lampes différentielles*, où c'est le rapport r_u de la différence de potentiel u aux bornes à l'intensité I du courant qui est maintenu constant.

Dans cette étude, tout d'abord M. Girault fait observer qu'une lampe fonctionnera convenablement si deux des trois quantités : intensité, différence de potentiel aux bornes et résistance apparente demeurent constantes, puisqu'il en résultera aussi la constance de la troisième.

I. Distributions a potentiel constant. — Dans les différents cas qu'il examine M. Girault désigne par U la différence de potentiel constante aux bornes du circuit d'utilisation, en volts ; par I l'intensité en ampères du courant traversant le circuit des lampes ; par u_1, u_2,... u_n, les différences de potentiel en volts aux

bornes des différentes lampes ; par $r_1, r_2, \ldots r_n$ les résistances apparentes de ces lampes ; par r la résistance en ohms de la résistance additionnelle, cette résistance comprenant toutes les résistances du circuit (résistance additionnelle et ligne) autres que celles apparentes des lampes elles-mêmes ; par $u = r\mathrm{I}$ la différence de potentiel en volts aux bornes des lampes.

1° *Circuit comprenant une seule lampe.* — Si la lampe est à intensité constante la chute de potentiel $u = r\mathrm{I}$ dans la résistance r demeure constante et par suite aussi la différence de potentiel $u_1 = \mathrm{U} - r\mathrm{I}$ aux bornes de la lampe ; la lampe fonctionnera donc convenablement. Il est à remarquer que le résultat est le même quel que soit r, et en particulier si $r = 0$.

Si la lampe est à potentiel constant, la différence $u = \mathrm{U} - u_1$ est aussi constante, et par suite l'intensité $\mathrm{I} = u/r$ l'est également. Mais il est nécessaire que la résistance r ait une valeur finie.

Si la lampe est à résistance apparente r_1 constante, l'intensité $\mathrm{I} = \frac{\mathrm{U}}{r_1 + r}$ est constante, et par suite aussi la différence de potentiel $u_1 = r_1\mathrm{I}$ aux bornes de la lampe. Le résultat est le même quel que soit r, et en particulier si $r = 0$.

2° *Circuit comprenant deux lampes en tension.* — Six genres d'association peuvent se produire :

a. Deux lampes à intensité constante. — Cette association est inacceptable. En effet, les deux lampes maintenant l'intensité constante, la chute de tension $u = r\mathrm{I}$ dans la résistance r est également constante, et par suite aussi la somme des différences de potentiel aux bornes des deux lampes $u_1 + u_2 = \mathrm{U} - r\mathrm{I}$; mais les deux lampes peuvent se partager cette différence de potentiel $u_1 + u_2$ d'une manière quelconque car les deux lampes règlent en même temps alors qu'une variation momentanée de l'intensité ne provient en général que de l'une d'elles.

b. Deux lampes à potentiel constant. — Les différences de potentiel u_1 et u_2 étant constantes, leur somme $u_1 + u_2$ l'est aussi et il en est de même de la chute de tension $u = \mathrm{U} - (u_1 + u_2)$ dans la résistance additionnelle, ainsi que de l'intensité $\mathrm{I} = u/r$. Mais il est nécessaire dans ce cas que la résistance r ait une valeur finie, car si $r = 0$ l'intensité I pourra prendre une valeur quelconque.

c. Deux lampes à résistance apparente constante. — Les résistances r_1 et r_2 étant maintenues constantes, l'intensité $\mathrm{I} = \frac{\mathrm{U}}{r + r_1 + r_2}$ demeure constante, et par suite aussi les différences de potentiel aux bornes des deux lampes $u_1 = r_1\mathrm{I}$ et $u_2 = r_2\mathrm{I}$. On doit naturellement régler les lampes de manière que $r_1 = r_2$ et alors $u_1 = u_2$. Le résultat est le même quel que soit r, et en particulier si $r = 0$.

d. Une lampe A_1 à intensité constante et une lampe A_2 à potentiel constant. — La première maintenant I constant, $u = r\mathrm{I}$ est aussi constant. D'autre part u_2 étant constant, la différence de potentiel $u_1 = \mathrm{U} - (u + u_2)$ aux bornes de la première est aussi constante. Le résultat est le même quel que soit r et en particulier si r est nul.

e. Une lampe A_1 à intensité constante et une lampe A_2 à résistance apparente constante. — La première maintient I constant ; donc $u = r\mathrm{I}$ et $u_2 = r_2\mathrm{I}$ sont constants ; de même pour $u_1 = \mathrm{U} - (u + u_2)$. Le résultat est le même quel que soit r, et en particulier si $r = 0$.

f. Une lampe A_1 à potentiel constant et une lampe A_2 à résistance apparente constante. — La première maintenant u_1 constant, la somme $u_2 + u = \mathrm{U} - u_1$ est constante. Comme la seconde maintient r_2 constant, l'intensité $\mathrm{I} = \frac{u_2 + u}{r_2 + r}$ est aussi constante ; il en est de même par conséquent de la différence de potentiel $u_2 = r_2\mathrm{I}$. Le résultat est le même quel que soit r, et en particulier si $r = 0$.

3° *Circuit comprenant* n *lampes en tension.* — Il résulte de ce qui a été dit au paragraphe *a* qu'on ne peut mettre en série plus d'une lampe à intensité constante, puisque si l'on avait plus d'une de ces lampes, elles se partageraient d'une manière quelconque la différence de potentiel restant à leur disposition.

Au contraire on peut mettre en série un nombre quelconque de lampes à potentiel constant et de lampes à résistance apparente constante, quel que soit le nombre de lampes appartenant à chacun de ces types. En effet si nous désignons par $u_1, u'_1, u''_1, \ldots$ les différences de potentiel aux bornes des premières leur somme Σu_1 est constante ; il en est donc de même de la somme $u + \Sigma u_2 = \mathrm{U} - \Sigma u_1$, u_2 désignant la différence de potentiel aux bornes d'une quelcon-

que des lampes à résistance apparente constante. Comme d'ailleurs la somme Σr_2 des résistances de ces dernières est maintenue constante, l'intensité $I = \frac{u + \Sigma u_2}{r + \Sigma r_2}$ est elle même constante. Il s'en suit que les différences de potentiel u_2, u'_2, u''_2,... aux bornes de ces lampes sont aussi constantes. Donc, en supposant toutes ces lampes réglant bien, elles fonctionneront à la fois à intensité constante et à différence de potentiel constante. Il est à remarquer que le résultat est le même quel que soit r, et en particulier si $r = 0$.

a. Cas de *n* lampes toutes à potentiel constant. — Dans ce cas le bon fonctionnement exige l'intercalation d'une résistance r (¹).

En effet si la résistance r est nulle, les lampes maintiendront bien constantes les différences de potentiel aux bornes de chacune d'elles, mais l'intensité qui les traversera pourra être quelconque, aucun organe de réglage n'étant influencé par les variations de cette intensité. Au contraire, si la résistance r existe, la différence de potentiel $u = U - \Sigma u_1$ aux bornes de r sera constante et il en sera de même de l'intensité $I = u/r$ (²).

b. Cas de *n* lampes toutes à résistance apparente constante. — Dans ce cas la résistance totale du circuit $r + \Sigma r_2$ est maintenue constante quelle que soit la valeur de r préalablement admise; il en est donc de même de l'intensité I et par suite aussi des différences de potentiel aux bornes de chaque lampe.

c. Cas de l'adjonction d'une seule lampe à intensité constante. — S'il est impossible de mettre en tension deux lampes à intensité constante dans un circuit, il est facile de voir que l'on peut faire fonctionner *une seule* A_1 de ces lampes en tension avec un nombre quelconque de lampes des deux autres systèmes.

Si toutes ces dernières lampes sont à potentiel constant, la somme Σu_2 de leurs différences de potentiel aux bornes est constante; donc la somme $u_1 + u = U - \Sigma u_2$ de la différence de potentiel aux bornes de A_1 et de la résistance de réglage est constante. Mais puisque A_1 maintient I constant, $u = Ir$ l'est aussi et par conséquent u_1 est constant, et cela quel que soit r.

Si toutes les autres lampes sont à résistance apparente constante, Σr_2 est constant. Comme I est maintenu constant par A_1, la somme $u + \Sigma u_2 = I(r + \Sigma r_2)$ demeure constante, et par suite aussi la différence $u_1 = U - u - \Sigma u_2$, et cela quel que soit r.

Enfin si on a, avec la lampe A_1 un nombre quelconque de lampes A_2 à potentiel constant et un autre nombre quelconque de lampes A_3 à résistance apparente constante, I, Σu_2 et Σr_3 seront constants. De la constance des deux premières quantités on déduit celle de Σr_2 et de $u = Ir$; or si Σr_2, $I\Sigma r_3$ et u sont constants, la différence de potentiel u_1 aux bornes de A_1 le sera aussi, et cela quel que soit r.

Imperfection du réglage des lampes à potentiel constant. — L'auteur démontre alors que ces lampes donnent lieu à des variations d'intensité plus grandes que les lampes à résistance constante.

Pour cela il considère deux lampes à différence de potentiel constante A_2 et A'_2 couplées en tension avec une résistance additionnelle r. De l'égalité $U = u_2 + u'_2 + rI$, il déduit, par différentiation, $0 = \Delta u_2 + \Delta u'_2 + r\Delta I$. Admettant avec M. Hegner (¹) que les lampes règlent pour une variation de 1/18 de leur différence de potentiel, et supposant qu'elles règlent en même temps, pour prendre le cas le plus défavorable, on a

$$\Delta I = -\frac{1}{9}\frac{(u_2)_n}{r}, \qquad (1)$$

$(u_2)_n$ désignant la différence de potentiel normale aux bornes d'une lampe.

Prenons maintenant le cas de deux lampes A_3 et A'_3 à résistance apparente constante couplées comme les précédentes. Dans une quelconque des deux lampes, l'équilibre de réglage a ordinairement lieu pour

$$I - \alpha u_3 = 0, \qquad (2)$$

$\alpha = \frac{(u_3)_n}{I_n}$ étant une constante, les indices n se

(¹) Un désavantage pratique que présentent les lampes à potentiel constant à écart préalable des charbons est le suivant : comme à l'allumage les charbons de toutes les lampes n'arrivent pas au contact en même temps, la bobine à fil fin de la lampe la plus en retard supporte un instant le voltage total de la distribution.

(²) Néanmoins pour des lampes très sensible, on pourra donner à r une valeur relativement très faible.

(¹) *Bull. de la Soc. int. des Électriciens*, t. XVI, p. 456, décembre 1899.

rapportant aux valeurs normales de u_3 et de I. L'une des lampes réglera par exemple lorsque l'expression (2) aura diminué d'une certaine quantité, par exemple de 1/18 de l'un des termes du premier membre comme dans le cas précédent ; on aura alors $I - \alpha u_3 = -\frac{I_n}{18}$ ou approximativement $1 - \alpha r_3 = -\frac{1}{18}$, ce qui donne $r_3 = \frac{1}{\alpha}\left(1 + \frac{1}{18}\right)$, tandis que pour l'équilibre on avait $(r_3)_n = 1/\alpha$. La variation de r_3 provoquant le réglage est donc $\Delta r_3 = + \frac{1}{18}(r_3)_n$. Or nous avons $U = u_3 + u'_3 + rI = r_3 I + r'_3 I + rI$. En différentiant et en supposant les deux lampes identiques et réglant en même temps, il vient $0 = 2\Delta r_3 I + 2r_3 \Delta I + r\Delta I$; ou en remplaçant Δr_3 par sa valeur et en tirant la valeur de ΔI :

$$\Delta I = -\frac{1}{9}\frac{(r_3)_n I}{2(r_3)_n + r} = -\frac{1}{9}\frac{(u_3)_n}{(2r_3)_n + r}. \qquad (3)$$

Si l'on compare cette expression à l'expression (1) on voit que la variation ΔI est beaucoup plus faible dans le cas des lampes à résistance apparente constante ; ces lampes, pour une même sensibilité de réglage que les lampes à différence de potentiel constante, se comportent (au point de vue des variations d'intensité provoquant le réglage) comme si l'on avait intercalé dans le circuit une résistance égale à $2r_3$ en plus de la résistance r. Elles pourront donc régler même si $r = 0$. Le réglage serait au contraire impossible dans ce cas pour les lampes à différence de potentiel constante, puisque la variation ΔI deviendrait alors infinie.

Avantages de l'adjonction d'une lampe à intensité constante en série. — On a vu plus haut que cette adjonction peut s'effectuer. M. Girault démontre qu'elle est avantageuse par les considérations suivantes :

« La plupart des lampes à arc actuelles semblent imparfaites au point de vue du réglage à l'allumage ; le courant à l'allumage est toujours supérieur de beaucoup au courant de régime. Ce phénomène ne peut s'expliquer que par l'insuffisance de l'écart possible des charbons au moment de l'allumage ; le dispositif produisant l'écart n'a pas assez de course.

» L'inconvénient du trop fort courant à l'allumage se fait d'autant plus sentir que l'on emploie une résistance auxiliaire plus faible ; c'est en particulier le cas lorsque l'on veut alimenter trois lampes à arc en tension sous 110 volts.

» Si l'on considère un circuit alimenté sous potentiel constant et comprenant un nombre quelconque de lampes dont l'écart est insuffisant à l'allumage, les unes à potentiel constant, les autres à résistance apparente constante, on conçoit qu'il soit possible d'établir une lampe à intensité constante telle qu'intercalée en tension dans ce circuit elle maintienne à très peu près la constance de l'intensité. Cette lampe agirait en somme comme un véritable régulateur d'intensité, particulièrement à l'allumage ; à ce moment, les autres lampes, ne disposant que d'un écart restreint, prendraient seulement une portion de leur différence de potentiel normale et la lampe à intensité constante devrait pouvoir prendre un écart tel que sa différence de potentiel aux bornes fût égale à celle normale, augmentée de la somme des différences de potentiel partielles que l'on doit enlever aux autres lampes pour que l'intensité demeure constante. On voit immédiatement que la lampe à intensité constante auxiliaire devra avoir une course disponible d'autant plus grande que le nombre des autres lampes en série sera plus élevé.

» Pendant toute la période d'allumage, les lampes à écart insuffisant fonctionneront avec *arc court*, et la lampe à intensité constante avec *arc long*, mais toujours avec intensité normale.

» Au fur et à mesure de l'usure des charbons, les lampes à écart insuffisant tendront peu à peu vers l'écart normal par allongement de l'arc, tandis que la lampe à intensité auxiliaire laissera ses charbons se rapprocher peu à peu ; une fois le régime normal bien établi en ce qui concerne les différences de potentiel aux bornes des régulateurs, toutes les lampes fonctionneront d'une manière équivalente au point de vue du rendement lumineux, avec leurs longueurs d'arcs normales.

» L'adjonction d'une lampe à intensité constante convenable permet donc d'améliorer la marche des lampes à arc montées en tension sous différence de potentiel constante ; suffisamment sensible et suffisamment rapide dans son action, elle permettrait de diminuer la valeur des résistances additionnelles et même de les annuler ; et même dans les cas où on emploiera une lampe à intensité constante d'un modèle ordinaire, on obtiendra tout au moins une diminution des variations d'intensité.

» On peut dire que la mise en tension d'une lampe à intensité constante dans un circuit comprenant des lampes d'autres types revient à avoir dans ce circuit deux modes de réglage ; l'un porte sur l'intensité commune à tous les appareils; l'autre, portant sur les différences de potentiel ou les résistances des lampes autres que celle à intensité constante, maintient constante par différence l'une ou l'autre de ces deux quantités pour cette dernière lampe. »

Applications. — L'auteur estime que certaines applications peuvent résulter des considérations précédentes ; voici ce qu'il dit à ce propos :

« Les différents modes d'association possibles que nous avons déterminés pour les trois types de lampes à arc peuvent recevoir de nombreuses applications.

» 1° On pourra facilement élever la tension d'une installation sous 70 volts afin de mettre deux lampes par circuit au lieu d'une, et cela quel que soit le type des lampes primitives. Si les lampes primitives étaient à intensité constante, ce qui est le cas ordinaire, on leur adjoindra comme seconde lampe dans chaque circuit, soit une lampe à potentiel constant, soit une lampe à résistance apparente constante.

» Si les lampes primitives étaient à différence de potentiel constante ou à résistance apparente constante, on pourrait adjoindre comme seconde lampe dans chaque circuit soit une lampe de l'un ou l'autre de ces deux types, soit de préférence une lampe à intensité constante réglant parfaitement.

» 2° Si une installation, comportant des lampes à différence de potentiel constante et des lampes à résistance apparente constante, fonctionne mal par suite de trop grandes variations dans l'intensité, on pourra avoir avantage à remplacer les lampes à différence de potentiel constante par des lampes à résistance apparente constante ou mieux encore par des lampes à intensité constante convenable, soit en totalité, soit en partie.

» 3° Il sera souvent possible de transformer une installation à deux lampes sous 110 volts (ou plutôt peut-être sous une tension un tant soit peu supérieure) en une à trois lampes sous la même tension par l'adjonction dans chaque circuit d'une lampe à intensité constante convenable.

» 4° Dans les installations nouvelles, il y aura souvent avantage à combiner les différents types de lampes dans un même circuit; on tiendra naturellement compte dans chaque cas des conditions de tension et de distance que d'autres considérations pourront imposer. »

II. Distribution a intensité constante. — Dans ce genre de distribution, un circuit quelconque comprend un grand nombre de lampes à arc montées en tension et l'on maintient l'intensité constante dans chaque circuit.

L'intensité étant maintenue constante on ne peut évidemment employer les lampes à intensité constante; par contre on peut employer indifféremment les lampes des deux autres types. Néanmoins, on évitera les lampes à différence de potentiel constante à écart préalable, pour la raison énoncée plus haut, à moins que l'on ne soit sûr d'un très bon isolement. J. R.

ÉLECTROCHIMIE

Sur la production de l'ozone par voie électrolytique, par **G. Targetti**. *Il Nuovo Cimento*, t. X, p. 360, novembre 1899.

L'auteur recherche les conditions les plus favorables à la production de l'ozone par l'électrolyse d'une solution d'acide sulfurique. Il remarque ou vérifie que la meilleure solution à employer est celle qui pèse 22° Baumé; une anode de plomb donne un rendement environ de moitié supérieur à celui d'une anode semblable en platine; la quantité d'ozone produite par unité d'énergie électrique dépensée croît avec la densité du courant à l'anode ; ce dernier effet paraît dû à ce que, en diminuant la grandeur de l'anode, on diminue le contact des gaz qui se développent avec le liquide. Pour diminuer encore ce contact, M. Targetti fait arriver un jet d'air sur l'anode, cette action augmente la production de l'ozone.

Avec un courant de 2 ampères sous 7,4 volts, la quantité d'oxygène dégagé par 10 minutes est de 100 mmgr environ, le pourcentage d'ozone peut atteindre 9, c'est-à-dire plus du double du rendement maximum atteint jusqu'ici [1]. Malgré ce rendement avantageux, il n'y a pas encore lieu de chercher à produire pratiquement l'ozone par voie électrolytique. G. G

[1] Otto. *Elektrotechnische Zeitschrift*.

Ozoneur J. H. Lamprey. Brevet anglais n° 5322, déposé le 10 mars 1899, accepté le 13 janvier 1900.

La figure ci-jointe représente la coupe d'une extrémité de l'appareil. On voit que cet ozoneur se compose d'une série de tubes disposés horizontalement dans une enveloppe cylindrique en substance isolante ; sur ces tubes sont enroulés en hélice des conducteurs métalliques reliés à la borne *f*, isolée par la rondelle *g* et reliée à l'un des pôles de la source de courant à haut potentiel ; à l'intérieur des tubes se trouvent d'autres conducteurs reliés à l'autre pôle. Ces tubes sont fixés sur deux cloisons, telles que *e*, isolées de l'enveloppe par une couche de vulcanite *m*. Un ventilateur électrique *ik* produit la circulation du gaz à ozoner.

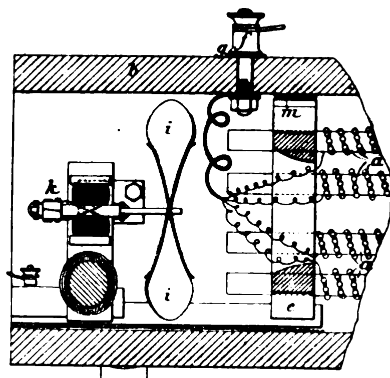


Fig. 1.

Électrolyseur J. D. Darling et C. L. Harrison pour électrolytes fondus. Brevet anglais n° 23755, déposé le 28 novembre 1899, accepté le 30 décembre 1899.

Cet électrolyseur, caractérisé par son diaphragme poreux déjà breveté par les inventeurs (B. P. n° 22236 du 28 septembre 1897), est destiné à l'électrolyse des corps en fusion comme la potasse, la soude, les azotates alcalins ou alcalino-terreux.

L'appareil se compose d'un four en terre réfractaire A (fig. 1) et de l'électrolyseur proprement dit. Le four est chauffé par les gaz d'un foyer qui, arrivant par les ouvertures A_1, sont conduits par des canaux non visibles sur la figure dans l'espace annulaire B et s'échappent ensuite par la cheminée C. L'électrolyseur est constitué par un récipient D, une anode E, un diaphragme poreux G et une cathode H. L'anode, qui peut être formée par un tube cylindrique en fonte, porte un rebord *e* s'appuyant sur le bord *d* du vase D, une couche de ciment interposée entre les deux rebords assurant l'isolement de l'anode. La cathode H est soutenue par une tige *h* fixée à une traverse I reposant sur des supports I_1, I_1 ; le compartiment cathodique est fermé par un couvercle h_1. Un tube J sert au dégagement des gaz formés à l'anode. Les conducteurs M et L connectent l'anode et la cathode à la source électrique.

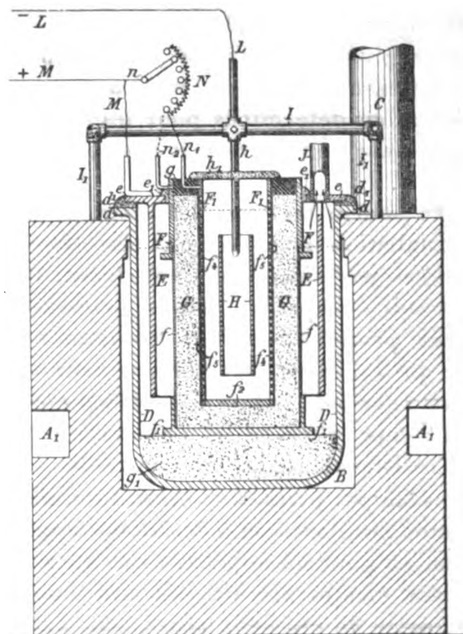


Fig. 1.

Le diaphragme G qui, comme nous le disions plus haut, caractérise l'appareil, est formé de deux enveloppes métalliques maintenant la matière poreuse G. L'enveloppe extérieure comprend un anneau en fonte épaisse F, un fond f_1 relié à F par des tiges et des boulons, et une toile en fils de fer *f* appliquée contre les tiges. La paroi latérale de l'enveloppe intérieure est constituée soit par deux tôles concentriques percées de trous en chicane, soit plus simplement par un tube cylindrique en fonte épaisse, percé de larges trous, une toile métallique entourant ce tube ; le fond est formé par une plaque de fonte f_2. La matière poreuse G est obtenue en coulant dans l'intervalle des enveloppes un mélange de ciment de Portland, de magnésie (pré-

parée par calcination du carbonate naturel) et d'eau en quantité suffisante. On remarquera que cette matière contient de la silice et semblerait par conséquent devoir être rapidement attaquée par les sels alcalins fondus. Suivant les inventeurs, cette attaque ne se produit pas et un tel diaphragme dure fort longtemps, non seulement parce qu'il résiste à l'action des alcalis, mais encore parce qu'il ne se brise pas sous l'influence des dilatations qui s'y produisent. Le seul inconvénient qu'ils aient rencontré dans son emploi est l'attaque assez rapide des parois métalliques, surtout de la paroi interne. Mais l'expérience leur a montré que cette attaque est considérablement diminuée si l'on a soin de connecter ces parois à l'anode par une dérivation : ce dispositif est représenté sur la figure en nNn_1 et nNn_2.

MESURES

Pont à téléphone Hanchett et Sage. Brevet anglais nº 24 965, déposé le 26 novembre 1898, accepté le 9 septembre 1899 (3 figures).

L'appareil de G. T. Hanchett et F. B. Sage est

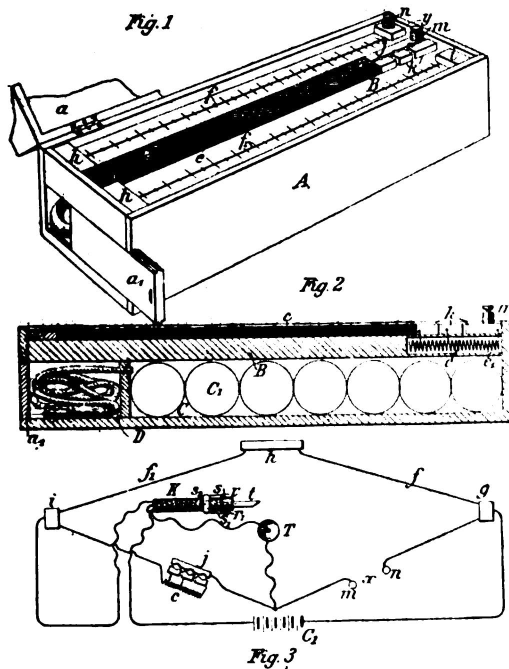


Fig. 1 à 3. — Boîte de résistance Hanchett et Sage. Coupe et schéma.

un pont à téléphone, destiné à la mesure des résistances ordinaires, pour lequel les inventeurs réclament surtout l'ensemble des dispositions qui en font un tout compact et peu encombrant.

Le fil ff_1, qui sert à établir le rapport entre la résistance connue et la résistance inconnue, est, pour réduire les dimensions, divisé en deux parties réunies par un bloc de laiton *hh* ; la graduation est faite de façon à permettre la lecture sans avoir à calculer le rapport de deux longueurs de fil.

Les résistances connues sont trois bobines *c* de 1,10 et 100 ohms reliées aux blocs de laiton *k*.

Le fond de la boîte, divisé en deux parties, renferme d'un côté des piles sèches c_1, de l'autre un téléphone et un manipulateur K. Ce dernier est constitué par un manche isolant muni d'un curseur métallique *t*; un double système de ressorts, *r* et *s*, fait qu'en appuyant le curseur *t* sur le fil ff_1, le circuit du téléphone T se trouve fermé d'abord, puis ensuite le circuit de la pile. Dans ces conditions il suffit de chercher sur le fil un point où en appuyant le curseur *t*, le téléphone n'émet aucun son ; le chiffre placé en face de ce point indique le facteur par lequel il faut multiplier la résistance de la bobine *c* employée pour connaître la résistance cherchée.

H. A.

Enregistreur Martin et Colville. Brevet anglais nº 13 125, déposé le 24 juin 1899, accepté le 11 novembre 1899 (3 figures).

L'enregistreur de F.-W. Martin et Ch.-A. Colville est un simple appareil de contrôle sur lequel les agents d'une usine électrique doivent inscrire, à chaque occasion, les lectures faites sur le voltmètre et l'ampèremètre. Le mouvement d'horlogerie du pendule D conduit, au moyen de roues dentées et de pignons d'angles, le tambour A sur lequel passe le papier où doit se faire l'enregistrement ; ce papier, emmagasiné sur le tambour B, passe sur A et deux galets 16 assurent son adhérence sur le tambour ; après avoir reçu le tracé, le papier sort de la boite et peut-être coupé à un moment quelconque.

L'inscription des volts et ampères se fait au moyen de deux plumes U et V, qui peuvent être déplacées le long du cylindre au moyen de vis *y* et *z*, commandées de l'extérieur par des boutons

moletés W. Les aiguilles qui portent ces plumes sont aussi munies d'index 9-10, qui se déplacent

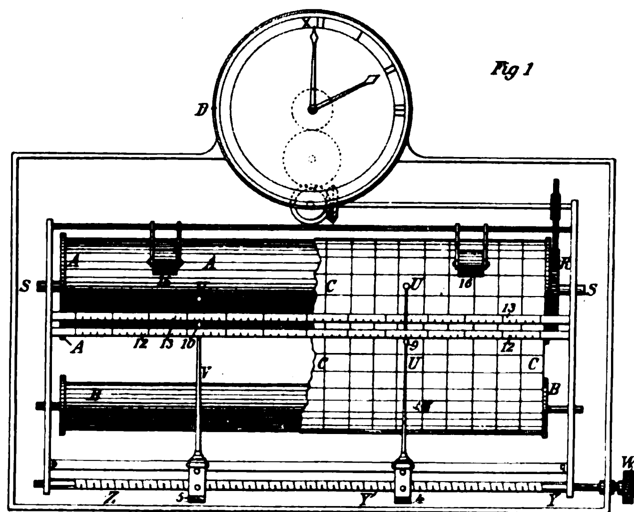


Fig. 1. — Enregistreur Martin et Colville. Vue de face.

le long des échelles divisées 12-13. Grâce à ces index, les plumes peuvent être amenées chaque fois à la position qui correspond au voltage et à

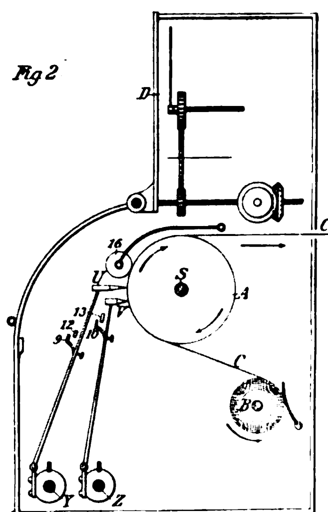


Fig. 2 et 3. — Enregistreur Martin et Colville. Coupe et détail de la plume.

l'intensité observés ; cet appareil trace ainsi la courbe des observations en fonction du temps.

Le tracé est fait, avec des encres de couleurs différentes, au moyen des plumes spéciales représentées par la figure 3 ; ce sont des tubes terminés par un cône effilé 27, percé d'un petit trou 28 ; la vis 26 sert à régler l'écoulement de l'encre. H. A.

Photographie, au moyen du tube de Braun, des courbes d'intensité des courants alternatifs, par **J. Zenneck**. *Wied. Ann.*, t. LXIX, p. 838-851, décembre 1899.

L'auteur a modifié la méthode de Braun [1], de manière à pouvoir photographier directement la courbe de courant. L'éclat de la tache lumineuse produite par le faisceau de rayons cathodiques sur l'écran fluorescent est insuffisant pour donner une impression photographique pendant la durée d'une seule période. Le principe de la disposition employée par Zenneck consiste à faire se reproduire indéfiniment la courbe lumineuse sur l'écran dans la même position.

Le déplacement horizontal proportionnel au temps de la tache lumineuse, est obtenu à l'aide d'une bobine dont l'axe est vertical et qui est parcourue par un courant dont l'intensité est proportionnelle au temps. Cette bobine est, à cet effet, disposée en dérivation sur un circuit contenant une force électromotrice constante ; l'un des contacts est fixe, l'autre est un contact glissant qui se déplace avec une vitesse uniforme. Dans ces conditions, si la résistance de la bobine est grande vis-à-vis de celle qui est comprise entre les deux contacts, le courant qui la traverse varie bien comme l'exige la méthode. La déviation de la tache lumineuse étant proportionnelle à l'intensité du courant, les déplacements de cette tache seront proportionnels au temps. Si l'on suppose maintenant que le contact glissant est rendu solidaire de l'arbre du générateur qui produit le courant à étudier, à la même phase de courant correspondra toujours la même position du contact glissant, c'est-à-dire la même abscisse à la même ordonnée et la tache lumineuse décrira pendant chaque période la même courbe. Il sera donc possible de prolonger à volonté la durée de l'impression photographique.

Si le courant n'est pas fourni par un généra-

[1] Le principe de cette méthode a été en réalité indiqué par Hess (voir *L'Écl. Élect.*, t. XII, p. 131 et note).

teur tournant, on modifie le dispositif de manière à réaliser toujours cette condition, comme il sera dit ci-dessous, à propos d'un cas particulier.

Pour diminuer la durée de pose nécessaire, Zenneck a apporté à la construction du tube de Braun, quelques modifications permettant d'augmenter l'intensité de l'excitation, sans danger pour le tube et sans provoquer de flottement de l'image. Il a introduit un second diaphragme de verre et fermé hermétiquement l'espace situé en arrière de la cathode (fig. 1) ; l'écran est recouvert de tungstate de calcium dont l'action photographique est plus intense que celle du

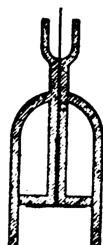


Fig. 1.

sulfure de calcium employé par Braun, surtout pour les intensités de décharges médiocres.

La meilleure source d'électricité à employer pour exciter le tube est une machine de Tœpler ou même une machine à influence ordinaire : la

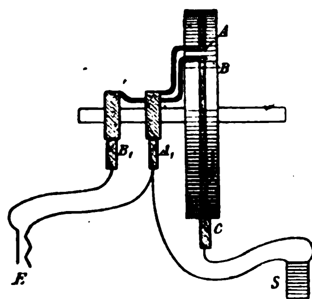


Fig. 2.

bobine d'induction convient moins bien : la luminescence est très forte, mais trop intermittente.

La bobine qui sert à produire la déviation magnétique ne doit dans aucun cas renfermer de noyau de fer; pour assurer l'uniformité du champ et maintenir la forme circulaire de la tache, on dispose deux bobines de part et d'autre du tube.

La disposition du contact mobile est représentée schématiquement par la figure 2 et en perspective par la figure 3. Une bande de nickel

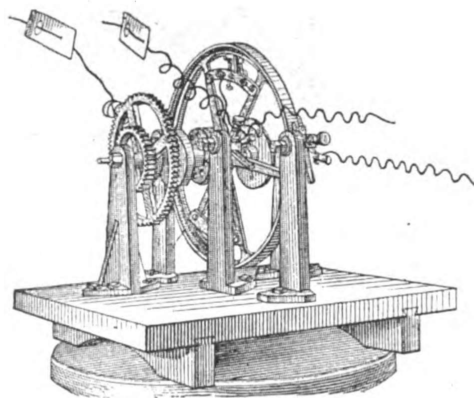


Fig. 3.

est fixée dans une gorge peu profonde tracée sur le pourtour d'une poulie ; cette bande est interrompue en A, B ; les points A et B sont reliés métalliquement à deux anneaux A_1 et B_1, calés sur l'arbre et sur lesquels frottent de petits balais amenant le courant de la pile E. Le contact C est constitué aussi par un balai de dynamo en deux morceaux : l'un est à plat, et muni d'une fente dans laquelle est soudé à angle droit un autre petit morceau qui sert à établir le contact.

La poulie reçoit son mouvement de l'arbre du générateur par l'intermédiaire d'engrenages ; sa vitesse est égale à celle de l'arbre ou au double de cette vitesse.

L'expérience peut réussir même avec des courants d'intensité assez faible si les dimensions des bobines déviatrices sont convenablement choisies.

Pour enregistrer une différence de potentiel variable entre deux points, on dispose entre ces deux points, outre les bobines, de fortes résistances sans induction. Si on se sert d'un condensateur, il faut que la force électromotrice efficace atteigne 2 à 300 volts (avec un tube de Braun long de 12 cm) pour que la déviation soit suffisante. Ce qui limite l'emploi de la méthode dans une certaine mesure, c'est la vitesse avec laquelle la tache luminescente se déplace sur l'écran ; cette vitesse doit être d'autant plus grande que la fréquence du courant à enregistrer est plus grande.

Pour augmenter cette vitesse, on peut, au lieu du courant linéaire décrit ci-dessus, employer le courant d'un alternateur. Le courant des alternateurs, quand on introduit dans le circuit une self-induction suffisante varie, au voisinage de l'axe des abscisses à peu près linéairement ;



Fig. 4, 5 et 6.

Fig. 4. Déplacement de la courbe d'intensité d'un courant tétraphasé, quand on introduit dans le circuit une self-induction considérable. — Fig. 5. Courbe d'intensité de l'une des phases du courant quand on charge la phase à 90° de celle-là. — Fig. 6. Courbe d'intensité de l'une des phases du courant quand on charge la phase à 180° de la première.



Fig. 7 et 8. — Courbe d'intensité du courant d'ouverture et de fermeture dans le circuit secondaire d'une bobine d'induction.

en utilisant seulement cette région de la courbe, on obtient encore un déplacement uniforme de la tache.

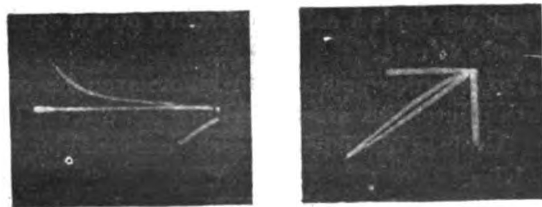


Fig. 9. La même, tracée avec le courant de l'alternateur remplaçant le courant linéaire. — Fig. 10. Courbe d'hystérésis.

Les figures 4 à 10 reproduisent quelques courbes obtenues par ce procédé. M. L.

Courbes d'intensité et de force électromotrice photographiées au moyen du tube de Braun, par **A. Wehnelt** et **B. Donath**. *Wied. Ann.*, t. LXIX, p. 861-870, décembre 1899.

Wehnelt et Donath obtiennent la représentation photographique du courant par un procédé différent, qui a l'avantage de donner sur la plaque en même temps que la courbe de courant, une courbe chronographique ; les clichés peuvent ainsi servir à des études quantitatives.

La disposition de l'appareil se comprend facilement à l'aide de la figure *a*.

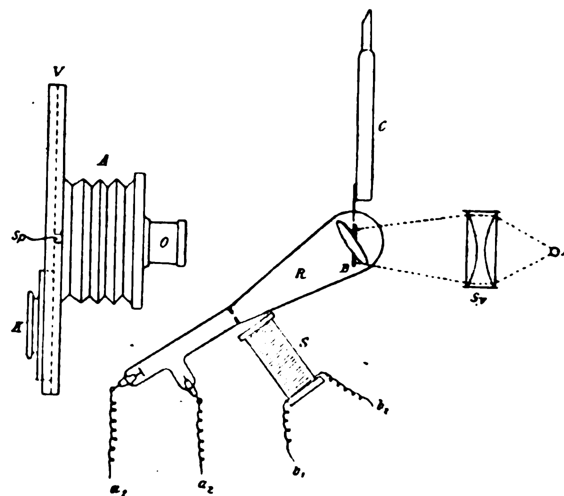


Fig. *a*.

A, appareil photographique ; R, tube de Braun ; B, disque d'aluminium, normal à l'axe de l'appareil, dans le plan vertical passant par la tache lumineuse de l'écran, ce disque est fixé au diapason électromagnétique C : Sy, collecteur projetant sur le disque B la lumière de la lampe L : cette lumière converge sur l'objectif O ; a_1, a_2, fils reliant le tube de Braun à la machine électrique ; S, bobine déviatrice, reliée par les fils b_1 et b_2, au circuit du courant étudié ; V, planche à glissières, le long de laquelle on peut déplacer le châssis K.

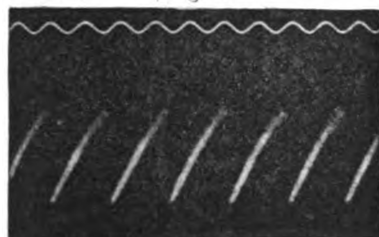
Le disque B est percé d'un petit trou par lequel la lumière de la lampe L arrive jusqu'à l'objectif O. On déplace à la main le châssis K, ce mouvement en effet n'a pas besoin d'être d'une uniformité absolue, puisque la courbe tracée

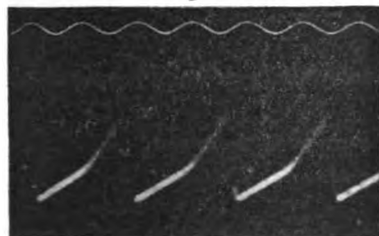
par le diapason permet toujours de repérer exactement la courbe de courant.

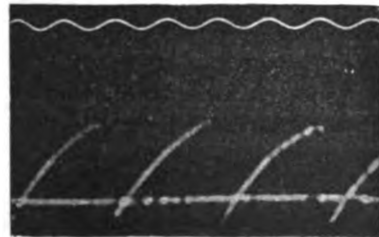
La déviation du faisceau cathodique est provoquée par une bobine que traverse le courant, si on veut obtenir la courbe d'intensité ; par un condensateur, si on veut avoir la courbe des forces électromotrices.

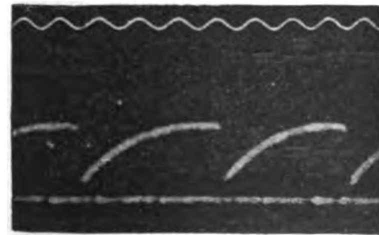
Cette dernière méthode ne peut s'appliquer

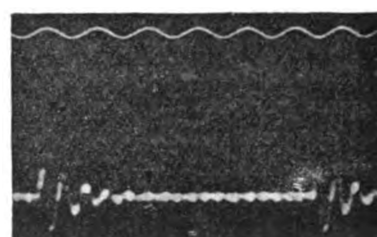

Fig. 1.

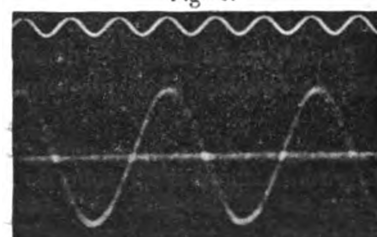

Fig. 2.

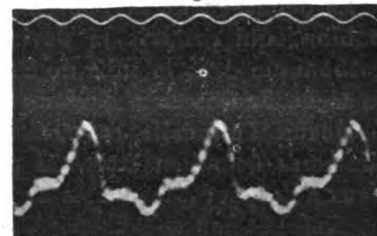

Fig. 3.

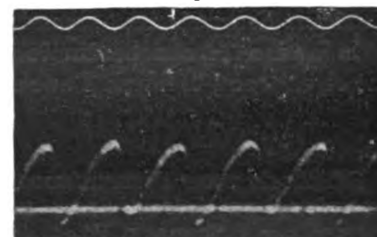

Fig. 4


Fig. 5.


Fig. 6.


Fig. 7.


Fig. 8.


Fig. 9

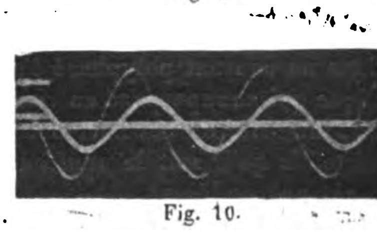

Fig. 10.

Fig. 1. — Courant de l'interrupteur Deprez.

Fig. 2. — Courant de l'interrupteur Wehnelt.

Fig. 3. — Courant de l'interrupteur Wehnelt avec une bobine d'induction dont le noyau s'aimante à saturation.

Fig. 4. — Courant de l'interrupteur Wehnelt avec une capacité aux bornes de l'interrupteur.

Fig. 5. — Courant de l'interrupteur Wehnelt avec une capacité et une self-induction aux bornes de l'interrupteur.

Fig. 6. — Courant dans un circuit en dérivation sur les bornes de l'interrupteur et renfermant une self-induction et une capacité en série.

Fig. 7. — Courant alternatif pris par deux balais sur une machine à courants continus.

Fig. 8. — Transformation d'un courant alternatif sinusoïdal au moyen de voltamètres de Grœtz : les voltamètres sont en série : l'une des phases du courant est supprimée sauf un léger résidu, dû à l'excès de la force électromotrice maxima sur la force électromotrices de polarisation.

Fig. 9. — Les voltamètres sont disposés en réseau de Wheatstone.

Fig. 10. — Courbes représentant la différence de phase entre l intensité et la force électromotrice.

qu'à des différences de potentiel assez élevées : pratiquement, il est préférable de remplacer le condensateur par une bobine de grande résistance.

Lorsqu'on dispose de deux machines à influence, il est possible de photographier simultanément les deux courbes. On enlève alors le diapason et on le remplace par un second tube

de Braun, dont le faisceau cathodique est dévié par le condensateur ou par la bobine de grande résistance.

Les écrans luminescents des deux tubes forment un angle droit et sont à des distances égales de l'objectif. Si les photographies doivent servir à l'étude des différences de phase, il est nécessaire d'amener les deux lignes lumineuses exactement dans le même plan vertical ; les deux courbes se trouvent ainsi l'une au-dessous de l'autre.

Il peut être intéressant de les obtenir superposées, ce qui s'obtient soit en tirant deux épreuves, qu'on colle l'une sur l'autre, soit en employant deux objectifs.

Nous reproduisons ci-dessus quelques exemples de courbes ainsi photographiées.

Analyse de la décharge d'une bouteille de Leyde au moyen du tube de Braun, par **F. Richarz** et **W. Ziegler.** *Dr. Ann.*, t. I, p. 468-474, mars 1900.

La décharge de la bouteille passe dans une bobine, qui produit la déviation du faisceau cathodique dans le tube de Braun : on observe la tache fluorescente dans un miroir tournant.

Quand l'étincelle est très courte (quelques dixièmes de millimètre), le phénomène lumineux a l'aspect d'une arête de poisson, à épines inclinées et nettement séparées. Si on augmente la self-induction du circuit de décharge en y insérant l'enroulement secondaire d'une bobine d'induction la courbe lumineuse devient continue et prend la forme d'une sinusoïde amortie.

M. L.

Méthode pour déterminer l'ordre d'un harmonique supérieur dans un courant polyphasé, par **J. Zenneck.** *Wied. Ann.*, t. LXIX, p. 854-861, décembre 1899.

L'auteur donne une méthode pour reconnaître dans un courant polyphasé l'ordre de l'harmonique qui se superpose au courant fondamental, et l'intensité de cet harmonique, en supposant toutefois qu'il soit le seul ou du moins nettement prépondérant.

Il envoie l'une des phases du courant dans deux bobines ayant même axe ; une autre phase, décalée de 90°, par exemple, s'il s'agit d'un courant tétraphasé, dans une seconde paire de bobines, ayant aussi le même axe, mais cet axe est perpendiculaire au premier. A l'intersection de ces deux axes, se trouve un tube de Braun, dont l'axe est perpendiculaire à leur plan.

Si n est l'ordre de l'harmonique, l'intensité sera, pour chaque paire de bobines respectivement :

$$i_1 = A \sin \omega t + B \sin n\omega t$$
$$i_2 = A \cos \omega t + B \cos n\omega t.$$

Comme le déplacement de la tache luminescente du tube de Braun est proportionnel à l'intensité, les composantes de ce déplacement seront :

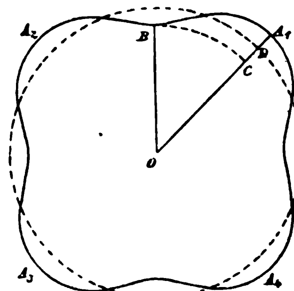


Fig. 1.

$$x = a \sin \omega t + b \sin n\omega t$$
$$y = a \cos \omega t + b \cos n\omega t.$$

La tache décrira donc la courbe qui a pour équation :

$$x^2 + y^2 = a^2 + b^2 + 2\, ab \cos (n - 1)\omega t$$

ou si l'amplitude B de l'harmonique est petite vis-à-vis de l'amplitude fondamentale A,

$$r = \sqrt{x^2 + y^2} = a + b \cos (n - 1)\omega t.$$

D'autre part, on a approximativement :

$$\text{arc tg } \frac{x}{y} = \omega t$$

et

$$\frac{b}{a} = \frac{B}{A}.$$

La courbe s'obtiendra donc, en portant sur la circonférence d'un cercle de rayon a $(n - 1)$ périodes d'une sinusoïde dont l'amplitude b est au rayon a du cercle comme l'amplitude B de l'harmonique à l'amplitude fondamentale A.

La figure 1 donne la courbe obtenue dans un cas particulier ; il y a quatre concavités : par conséquent, on avait affaire à l'harmonique d'ordre 5 ; le rapport de son amplitude à l'amplitude fondamentale est représenté par CD : OD.

S'il y a plusieurs harmoniques, le procédé ne peut plus servir qu'à caractériser leur présence, sans donner d'indication quantitative. M. L.

OSCILLATIONS HERTZIENNES

Influence de l'épaisseur de la couche d'air sur la réflexion des radiations électriques, par **J.-C. Bose.** *Proceedings of the Royal Society of London*, t. LXII, p. 300, résumé dans le *Journal de Physique*, 3e série, t. IX, mars 1900, p. 175.

L'auteur a donné précédemment [1] une méthode pour mesurer les indices de réfraction des substances pour les radiations électriques au moyen de la réflexion totale. Dans le premier mémoire, il applique cette méthode légèrement perfectionnée à la détermination de l'indice de réfraction du verre. Il trouve que cet indice est égal à 2,04, lorsque la fréquence des vibrations est de l'ordre de 10^{10}.

Dans le second mémoire, il plaça également les deux demi-cylindres de la substance à étudier avec leurs faces planes en regard et chercha si, pour des angles d'incidence plus grands que l'angle limite de la réflexion totale, les ondes électriques traversent encore le cylindre, lorsque la couche d'air intermédiaire est rendue suffisamment petite. Il trouva que l'épaisseur de la couche d'air pour laquelle aucun rayon ne pénètre dans le deuxième cylindre a une limite inférieure qui dépend en partie de l'angle d'incidence et en partie de la longueur d'onde et que cette limite inférieure augmente avec l'angle d'incidence et la longueur d'onde.

Pour trouver la relation qui existe entre l'intensité de la radiation réfléchie et de la radiation transmise, l'auteur chercha d'abord un moyen de mesurer cette radiation. Il le rencontra dans la diminution de résistance du récepteur de M. Branly, diminution que l'on peut mesurer par la méthode du pont. Les radiations réfléchies et transmises sont égales, lorsque l'épaisseur de la couche d'air est approximativement la moitié de l'épaisseur qui constitue la limite inférieure. Pour des épaisseurs plus grandes de la couche d'air, la radiation réfléchie l'emporte sur la radiation transmise ; c'est l'inverse pour des épaisseurs plus faibles.

[1] *Proc. of the Roy. Soc.*, t. LX, p. 206 ; *Journ. de Phys.* 2e série, t. VI, p. 627, 1887.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

ACADÉMIE DES SCIENCES

Séance du 30 avril 1900 [2].

Sur une expérience de M. Jaumann relative à la déviation électrostatique des rayons cathodiques, par **P. Villard.** *Comptes rendus*, t. CXXX, p. 1177-1178.

M. Jaumann a constaté, en 1896, qu'un bâton de verre électrisé *repoussait* un faisceau cathodique produit dans un tube à rayons cathodiques *plongé dans l'huile;* cette répulsion n'était d'ailleurs que momentanée et le faisceau reprenait sa direction primitive au bout d'un temps variant de 0,2 à 1 seconde [1].

Ce résultat étant difficilement conciliable avec l'existence, démontrée depuis, d'un transport de charges négatives par les rayons cathodiques, M. Villard a répété l'expérience de M. Jaumann. Comme celui-ci il a obtenu une déviation momentanée du faisceau cathodique par l'approche d'un corps électrisé, mais cette déviation a toujours été dans le sens que permettait de prévoir la théorie, c'est-à-dire qu'il y avait *attraction* par un corps chargé positivement

[2] A cette séance, M. Becquerel a présenté une communication intitulée : « Sur la transparence de l'aluminium pour le rayonnement du radium » (*Comptes rendus*, t. CXXX, p. 1154-1158) ; nous n'en parlons pas ici, les résultats consignés dans ce travail devant être indiqués dans l'analyse de la communication faite par M. Becquerel à la dernière séance de la Société de physique.

[1] Voir *L'Éclairage Électrique*, t. VII, p. 321, 16 mai 1896.

et *répulsion* par un corps chargé négativement. S'appuyant sur les résultats obtenus par M. Bouty dans son étude de la conductivité des gaz raréfiés [1]. M. Villard attribue cette déviation à ce que l'huile qui entoure l'ampoule est assez isolante pour ne pas empêcher l'effet de la variation rapide du champ produite par l'approche du corps électrisé, mais en même temps assez conductrice pour permettre, quand le corps électrisé est au repos, l'établissement d'une distribution annulant le champ produit par ce corps.

Sur l'absorption du rayonnement du radium, par **P. Villard**. *Comptes rendus*, t. CXXX, p. 1178-1179.

En faisant arriver sur deux plaques photographiques superposées et sous une incidence presque rasante, le rayonnement du radium, l'auteur a reconnu qu'une épaisseur de verre de 1 cm arrête pratiquement les rayons *déviables* et affaiblit fort peu les rayons *non déviables*. Il a également observé que les premiers ne peuvent traverser une lame de plomb de 0,3 cm d'épaisseur tandis que les derniers sont seulement affaiblis par ce passage.

Luminescence des gaz raréfiés autour d'un fil métallique communiquant à l'un des pôles d'une bobine de Ruhmkorff, par **J. Borgman**. *Comptes rendus*, t. CXXX, p. 1179-1182.

Un fil métallique non couvert d'une couche isolante s'entoure, comme on le sait, d'une auréole lumineuse, quand il fait partie du circuit d'un Ruhmkorff et que ce circuit contient un excitateur à étincelle ou un tube de Crookes. Outre cette auréole on remarque encore de petites étoiles lumineuses, assez vives, placées à des distances presque égales tout le long du fil. Pour étudier de plus près ces phénomènes lumineux, l'auteur a entrepris, avec l'assistance de M. Petrowsky, quelques expériences sur des fils métalliques tendus suivant l'axe de longs tubes en verre, à différents degrés de raréfaction des gaz contenus dans ces tubes.

L'auteur s'est servi d'un certain nombre de tubes, longs de 50 cm à 120 cm, ayant un diamètre de 3 cm à 6 cm ; suivant l'axe de chaque tube était soudé un fil en platine, d'un diamètre de 0,1 mm; les bouts du fil traversaient le verre et étaient entourés de petits tubes, contenant du mercure. Il employait encore un tube long de 100 cm d'un diamètre de 4 cm, suivant l'axe duquel était soudé un tube en verre de petit diamètre à parois minces ; ce tube pouvait être rempli de mercure ou d'eau acidulée. L'un des deux bouts du fil ou de la colonne liquide restait isolé, l'autre communiquait à l'aide d'un fil métallique très fin à un pôle d'un Ruhmkorff, dont l'autre pôle était mis à la terre. Le caractère des phénomènes restait le même dans tous les tubes [1].

[1] *Écl. Élect.*, t. XX, p. 198, 5 août 1899.

[1] Ces phénomènes étaient les suivants :

1° Quand on actionnait le Ruhmkorff, on voyait immédiatement se former une auréole lumineuse tout le long du fil. A mesure qu'on raréfiait l'air dans le tube, la lueur de l'auréole devenait moins vive, mais les points lumineux devenaient de plus en plus nets. A une certaine raréfaction, on voyait se former autour de chaque point une assez mince couche de gaz faiblement lumineuse, normale au fil et occupant une partie de la section du tube. Quand on diminue encore la pression du gaz, ces couches transversales de gaz lumineux croissent en dimensions ; leur nombre, ainsi que le nombre des étoiles posées dans leurs centres, augmente. Enfin, ils se confondent dans une masse lumineuse qui occupe tout l'intérieur du tube, mais qui présente encore une structure stratifiée. Les points lumineux, ainsi que les couches transversales de gaz lumineux, paraissent également dans les deux cas quand le fil communique au pôle positif ou quand il communique au pôle négatif.

Les phénomènes deviennent beaucoup plus intéressants quand aux pôles du Ruhmkorff est branché un circuit parallèle contenant un excitateur à étincelle dont les boules sont à une petite distance l'une de l'autre. En changeant la longueur des étincelles, je pouvais modifier à volonté le maximum du potentiel au pôle. De plus, pour pouvoir changer le potentiel au bout du fil, j'intercalais entre ce fil et le pôle un condensateur à plateaux parallèles et à distance variable.

2° Quand la longueur des étincelles ne dépasse pas 3 mm, et quand le bout du fil communique au pôle *négatif* du Ruhmkorff, le fil est entouré d'une auréole lumineuse continue qui, à mesure que la raréfaction devient plus grande, croît en largeur, prend une teinte pourprée et se détache du fil. A des raréfactions modérées, le fil a l'air d'un gros fil lumineux, entouré d'une faible lueur nébuleuse.

3° En maintenant la même longueur des étincelles, mais en communiquant le bout du fil au pôle *positif*, on remarque, même aux plus faibles raréfactions, outre les points lumineux, encore une lueur violette du gaz entourant le fil. Cette lueur prend la forme de secteurs étroits et minces normaux au fil et posés tout le long du fil à des distances presque égales. A mesure que la raréfaction devient plus grande, les secteurs croissent en dimensions et se transforment enfin en disques parfaitement réguliers. Le diamètre de ces disques croît avec la longueur

Sur l'hystérésis et la viscosité des diélectriques, par **F. Beaulard**. *Comptes rendus*, p. 1182-1185.

Un diélectrique placé dans un champ électrostatique alternatif s'échauffe et la dissipation d'énergie ainsi produite est proportionnelle à une certaine puissance ε de la force électromotrice (efficace ou maximum); mais, tandis que pour M. Steinmetz [1], ε est constant et égal à 2, il semble résulter au contraire des recherches de M. Arno [2] que ε, égal à 1,65 (pour un champ de 1,75 unité électrostatique), est variable avec la grandeur du champ et augmente avec lui, et que, dans tous les cas, il y a lieu d'admettre l'existence d'une hystérésis diélectrique.

En soumettant un condensateur aux variations cycliques de décharges oscillantes, M. Janet [3] a également constaté qu'à potentiel croissant les charges sont plus faibles qu'à potentiel décroissant; le retard des charges sur les différences de potentiel pouvant provenir, soit de l'*hystérésis*, soit de la *viscosité*. On sait, du reste que l'hystérésis est indépendante de la vitesse de variation du cycle et que la viscosité en dépend, au contraire, essentiellement, car elle s'oppose d'autant moins à l'établissement de la valeur définitive correspondante à la grandeur et au sens de l'action exercée que les variations de celle-ci sont plus lentes. On peut aussi invoquer la théorie des *conductions intérieures* de Hess [4]; dans cet ordre d'idées, comme dans le cas de la viscosité, l'énergie dégradée augmente avec la fréquence du courant alternatif et devient nulle pour des variations cycliques lentes; cela résulte

des étincelles dans l'excitateur et avec la diminution de la distance entre les plateaux du condensateur. On peut aisément faire occuper par ces disques toute la largeur du tube. Quand le travail de l'interrupteur du Ruhmkorff est bien régulier, ces disques sont absolument immobiles.

4° Le nombre de secteurs lumineux et puis de disques contenus sur un décimètre du fil diminue avec la pression, avec le potentiel au bout du fil et avec l'accroissement du diamètre du tube.

5° A mesure que la pression du gaz dans le tube atteint 4 mm à 5 mm, le nombre de disques diminue notablement. On observe alors comme une lutte pour l'existence entre ces disques : les uns entre eux se développent vivement, les autres commencent à s'agiter, leur éclat tantôt diminue, tantôt croît et enfin ils disparaissent. A la place de chaque disque disparu paraît entre les deux disques voisins une lueur nébuleuse ayant la forme d'un ellipsoïde de révolution dont l'axe coïncide avec le fil. (La figure 2 présente la reproduction d'une photographie, exposition de 3 minutes).

6° A de petites pressions, les disques changent d'aspect et prennent la forme de lentilles biconcaves, violettes, régulièrement disposées et munies de moyeux d'une lueur assez vive. A mesure qu'on augmente la raréfaction, l'épaisseur des lentilles, ainsi que la longueur de leurs moyeux, croît, et enfin toutes les lentilles s'unissent par leurs bords et forment un brouillard lumineux, au sein duquel on remarque des espaces plus sombres, d'une forme ellipsoïdale. Ces espaces disparaissent à des raréfactions très avancées.

7° Quand on a atteint le degré de raréfaction correspondant à l'union des bords des lentilles, l'adjonction du pôle *négatif* au fil donne naissance à un phénomène nouveau. Dans ce cas, on remarque sur la surface intérieure du tube des anneaux phosphorescents d'une couleur vert jaunâtre. Ces anneaux sont d'abord assez minces. Ils sont disposés d'une manière régulière le long du tube et semblent se déplacer le long du tube et tourner autour de l'axe. Au centre de chaque anneau paraît un point lumineux posé sur le fil. La distance entre deux anneaux voisins reste presque constante tout le long du tube. A mesure que la raréfaction augmente, l'épaisseur des anneaux phosphorescents croît et leur nombre diminue.

8° Si l'on approche du tube un aimant en fer à cheval, de manière que son champ magnétique soit normal à l'axe du tube, on voit se former un anneau phosphorescent incliné sur l'axe du tube. Cet effet de l'aimant correspond à son influence sur la direction des rayons cathodiques, émanés radialement du fil.

9° A la même pression du gaz, mais quand le fil communique au pôle *positif*, l'aimant, approché du tube de manière que son axe soit parallèle à l'axe du tube, provoque l'apparition sur le côté opposé de la surface intérieure du tube de deux minces bandes d'une couleur vert jaunâtre, ayant la forme d'ailes déployées d'un oiseau.

10° A de moindres raréfactions, l'aimant ne donne aucun effet.

11° A des étincelles plus grandes que 3 mm, tous les phénomènes ont le même caractère que sans micromètre à étincelle.

12° A des raréfactions très avancées et à de très petites longueurs des étincelles, tout l'intérieur du tube reste sombre, mais on remarque sur le fil comme des perles faiblement lumineuses, régulièrement disposées le long du tube. Le phénomène rappelle les nœuds et ventres qui se forment sur un fil vibrant.

[1] *Electroteckniscke Zeitschrift*, avril 1892 (*El. Engineer* New-York, mars 1892.)

[2] *Rendic, R. Acc. dei Lincei*, 16 octobre 1892, 30 avril 1893, 26 janvier 1895. — *L'Eclairage Electrique*, t. VII. p. 407. 30 mai 1896.

[3] *Comptes rendus*, 26 décembre 1892, t. CXVI. p. 373. Voir dans *L'Éclairage Électrique*. t. IV, p. 205, 3 août 1895, l'article de M. Hess « Sur la question de l'hystérésis diélectrique ».

[4] *La Lumière Électrique*, t. XLVI, p. 401 et 507, 26 novembre et 10 décembre 1892.

des recherches d'Eister [1] qui a constaté, en outre, que l'énergie est proportionnelle au carré de la force électromotrice. MM. A. Porter et Morris [2] ont également conclu à l'absence d'hystérésis (pour la paraffine) en opérant avec un cycle lentement parcouru (cinq minutes).

M. Beaulard est arrivé à la même conclusion dans des recherches dont voici le dispositif et les principaux résultats :

Un condensateur à diélectrine a une armature maintenue constamment au potentiel zéro, tandis que l'autre est en relation avec un contact mobile, susceptible de glisser *d'une façon continue* le long d'une colonne liquide (solution de SO^4Cu) contenue dans une gouttière creusée dans un bloc d'ébonite ; le milieu de la colonne est au sol et les extrémités A et B sont portées à des potentiels égaux et de signes contraires $+V$ et $-V$; soit a la position du contact mobile qui correspond à un potentiel $+v$ peu différent de $\frac{1}{2}$ V ; on peut charger le condensateur sous une différence de potentiel $+v$ par un déplacement uniforme : 1° de durée t du contact mobile le long du trajet Oa ; 2° ou de durée 3t le long du trajet OaAa ; 3° ou de durée 9 t, le long du trajet OaAaOBOa.

On décharge chaque fois le condensateur dans un balistique et l'on note les déviations différentes δ, δ', δ'' ; entre chaque opération on met le condensateur en court circuit, pendant un temps suffisamment prolongé.

En portant en abscisses les valeurs v, V, v, o, $-v$, $-V$, $-v$, o et en ordonnées les valeurs de δ correspondants, puis joignant les points obtenus par une courbe, on obtient un cycle fermé, effectué en un temps $T = 10t$; la mesure des aires des cycles permet, après un tarage du galvanomètre, de calculer l'énergie W absorbée par cycle.

M. Beaulard a opéré avec les trois cycles de voltage suivants :

(— 8, — 4, o, + 4, + 8) volts — I

(— 18, — 10,0, + 10, + 18) volts — II

(— 27, — 15, o, + 15, + 27) volts — III

et obtenu les valeurs ci-dessous pour W :

	I	II	III
	$V_{max} = +8$.	$V_{max} = +18$.	$V_{max} = +27$.
	joules	joules	joules
T = 4s . . .	$1,408.10^{-8}$	$7,04.10^{-8}$	»
T = 10s . . .	1,506 »	5,33 »	$10,69.10^{-8}$
T = 50s . . .	0,968 »	4,78 »	9,306 »
T = 100s . . .	0,880 »	4,09 »	7,37 »
T = 150s . . .	0,875 »	3,45 »	5,61 »
T = 300s . . .	» »	» »	4,95 »
T = 600s . . .	c,140 »	» »	» »

On constate que, pour des durées de plus en plus grandes, W tend vers o ; pour T = 15 minutes, l'aire du cycle est nulle.

M. Beaulard a essayé de représenter ces résultats par une formule de la forme.

$$W = aV^{\varepsilon}. \quad (1)$$

On calcule a et ε pour deux valeurs W_I et W_{III} relatives à une vitesse de variation du cycle et l'on calcule ensuite W_{II} que l'on compare avec W_{II} observé. Voici les résultats de cette comparaison :

$$T = 150^s \quad \varepsilon = 1,52 \quad a = 0,0372$$
$$T = 100^s \quad \varepsilon = 1,74 \quad a = 0,0237$$
$$T = 50^s \quad \varepsilon = 1.86 \quad a = 0,0197$$
$$W_{II}^{calc.} = 3.015 \quad W_{obs.}^{II} - W_{calc.}^{II} = +0,43$$
$$W_{calc.}^{II} = 3,62 \quad W_{obs.}^{II} - W_{calc.}^{II} = +0,47$$
$$W_{calc.}^{II} = 4,27 \quad W_{obs.}^{II} - W_{calc.}^{II} = +0,51$$

Il est visible que la relation (1) ne s'applique pas, l'écart pouvant atteindre 12 p. 100 environ. Il faut donc conclure que les diélectriques ne présentent pas le phénomène de l'hystérésis, mais sont seulement doués de viscosité.

SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ÉLECTRICIENS

Séance du mercredi 2 mai 1900.

M. Langevin fait un exposé d'ensemble de la théorie *des ions dans les gaz*, émise d'abord par M. Giesel, puis développée par MM. Schuster, J.-J. Thomson, Rutherford, Zeleny, Chattock, Wilson, et qui a pour but d'expliquer la conductibilité électrique des gaz.

Une analyse de cet exposé ayant été donnée récemment dans ces colonnes (*L'Écl. Élect.*, 28 avril, t. XXIII, p. 156) d'après la communication faite par M. Langevin lui-même à l'une des séances de Pâques dernier de la Société de Physique, nous renvoyons nos lecteurs à cette analyse.

Le Gérant : C. NAUD.

[1] *Electroteckniche Zeitschrift*, 15 juin 1895. — *L'Éclairage Électrique*, t. IV, p. 210, 5 août 1895.

[2] *Proc. Roy. Soc.*, t. LVII, p. 469, 1895 ; — *The Electrician*, 12 avril 1895 ; — *L'Éclairage Électrique*, t. IV, p. 208, 3 août 1895.

Tome XXIII. Samedi 19 Mai 1900. 7e Année. — N° 20

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

L'EXPOSITION UNIVERSELLE

LA DÉCORATION LUMINEUSE DU PALAIS DE L'ÉLECTRICITÉ

Parmi les divers effets lumineux prévus par M. Hénard, l'architecte du Palais de l'Électricité, pour concourir à la décoration nocturne de l'élégante façade de ce Palais, il en est deux dont la réalisation présentait d'assez sérieuses difficultés. Ce sont : d'une part, le trait de feu, destiné à figurer la foudre et devant jaillir entre les électrodes que tient le Génie de l'Électricité (fig. 1) situé au faîte de la travée centrale; d'autre part les moulinets électriques que l'on se propose de placer dans les deux rosaces des travées situées immédiatement en arrière des deux dômes latéraux du Château d'Eau.



Fig. 1.

Il fallait en effet, d'après les idées générales ayant présidé à l'ensemble de la décoration, que ces effets fussent obtenus au moyen d'étincelles extrêmement bruyantes, pour donner un peu l'illusion du tonnerre, et en même temps très lumineuses pour qu'elles se détachent nettement des autres motifs de décoration; il fallait en outre que l'étincelle figurant la foudre ait une longueur assez considérable, d'au moins un mètre, condition difficilement conciliable avec les précédentes.

M. d'Arsonval voulut bien se charger d'étudier les dispositifs propres à réaliser des étincelles répondant aux conditions imposées. Après divers essais il fut conduit à deux dispositifs différents produisant, l'un des étincelles très lumineuses, très bruyantes, mais courtes, l'autre des étincelles beaucoup plus longues, et qui ne diffère d'ailleurs du précédent que par l'adjonction d'un transformateur genre Tesla.

1. Dispositif a étincelles courtes. — Ce dispositif comprend un transformateur T_1 (fig. 2), deux batteries de condensateurs C et un exploseur ou interrupteur E ; le transformateur T_2 représenté sur la même figure ne sert que pour l'obtention de longues étincelles.

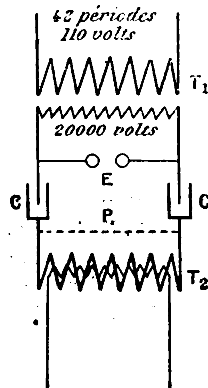


Fig. 2.

Transformateur. — Le transformateur, construit par la Société L'Éclairage Électrique, est du type Labour à circuit magnétique fermé, actionné par un courant alternatif, de fréquence 42 et d'une tension de 110 ou de 55 volts suivant le couplage des circuits primaires, et peut absorber jusqu'à 30 kilowatts. Les circuits secondaires peuvent être couplés de manière à donner jusqu'à 90 000 volts et au delà pour des expériences de courte durée; la tension secondaire prévue n'est d'ailleurs que de 20 000 volts.

Afin d'avoir un bon isolement des circuits, M. d'Arsonval avait demandé au constructeur d'enfermer le transformateur dans une caisse en fonte munie d'un couvercle hermétique, de façon à pouvoir faire le vide dans l'appareil et le remplir ensuite d'huile épaisse de vaseline. L'expérience montra que cette précaution était inutile et que l'isolement obtenu en plongeant le transformateur dans la paraffine fondue et laissant refroidir, était suffisamment bon.

Condensateur. — La réalisation du condensateur a été plus difficile.

Le verre, même sous une épaisseur de 5 mm, était rapidement percé et parfois pulvérisé au moment de la production des courants à haute fréquence. L'ébonite, le celluloïd, le papier du Japon paraffiné ou arcansoné ne résistèrent pas mieux.

Fort heureusement des plaques de micanite, préparées par M. Avtsine, donnèrent d'excellents résultats. Elles sont obtenues en collant à chaud, avec de la gomme laque et sous forte pression, des lames très minces de mica.

Les dimensions des plaques employées dans la confection des condensateurs définitifs sont : épaisseur, 2 mm; longueur, 365 mm; largeur, 285 mm.

Les armatures sont constituées par des plaques rectangulaires de fer blanc très mince [1], découpées de façon à laisser déborder d'environ 50 mm de chaque côté la plaque de micanite; elles présentent de plus, à l'un des angles, un prolongement qui leur permet de déborder la plaque de micanite de 7 à 8 cm.

Pour former un condensateur on superpose alternativement une plaque de micanite et une feuille de fer blanc en ayant soin de mettre d'un même côté les queues des feuilles de rang impair et du côté opposé celles des feuilles de rang pair. Quand on a superposé ainsi vingt plaques de micanite on met, au-dessus et au-dessous des armatures extrêmes, deux planchettes de bois, on serre le tout au moyen de sangles en toile, puis, on réunit avec de simples presses à pile les queues des armatures de même parité, et enfin, on

[1] Des feuilles d'étain ou de tout autre métal, collées par un moyen quelconque sur la micanite, ne donnèrent pas de bons résultats.

plonge l'ensemble verticalement dans une cuve carrée en verre de dimensions appropriées (le n° 7 de Saint-Gobain) remplie de pétrole lampant ordinaire.

Chaque cuve reçoit deux condensateurs semblables qui peuvent à volonté être reliés en cascade ou en surface suivant les circonstances. Chaque condensateur, dont la surface d'armature est d'environ 1 m², a une capacité sensiblement égale à un centième de microfarad.

Les condensateurs ainsi constitués se comportent admirablement. L'isolement est excellent, le pétrole lampant étant assez fluide pour permettre à l'air interposé entre les feuilles de se dégager facilement, et la micanite n'étant pas altérée par le contact du pétrole, dans lequel la gomme laque est insoluble; il n'y a pas d'ailleurs de pertes par effluves ou décharges latérales si l'on a soin de mettre assez de pétrole pour recouvrir complètement les condensateurs.

Exploseur. — La décharge du condensateur entre les deux boules de l'exploseur E donne généralement naissance à un arc continu. Pour empêcher la formation de l'arc, on dispose de plusieurs moyens : soit le soufflage par un jet d'air ou un champ magnétique, soit, comme M. d'Arsonval l'indiquait dès 1896 (1), l'intercalation d'un condensateur de garde dans le circuit à fil fin du transformateur, ou celle d'une forte bobine de réactance sur le circuit à basse tension de ce transformateur.

Le soufflage par l'air est, pour les courants puissants, celui qui convient le mieux parce qu'il refroidit en même temps les boules de l'exploseur et empêche leur détérioration rapide par l'étincelle. Mais il a l'inconvénient de nécessiter des appareils spéciaux et une assez grande dépense d'énergie. Pour éviter cet inconvénient, tout en conservant l'avantage d'un refroidissement énergique des boules, M. d'Arsonval renversa en quelque sorte le dispositif ordinaire de soufflage : au lieu de diriger un courant d'air sur les boules maintenues immobiles, il fit tourner rapidement celles-ci dans l'air ambiant.

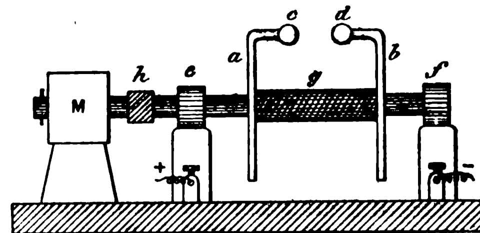


Fig. 3.

L'exploseur construit pour réaliser cette idée se compose de deux tiges métalliques *a* et *b* (fig. 3) terminées par des sphères *c* et *d*, mobiles dans des bagues, à la façon d'une rotule, de manière à pouvoir utiliser tour à tour tous les points de la sphère pour faire jaillir l'étincelle. Ces tiges sont fixées à deux axes perpendiculaires tournant dans des paliers *e* et *f* mis en communication avec les armatures du condensateur; une traverse en ébonite *g* rend les deux axes solidaires; un manchon *h*, également en ébonite, relie l'un d'eux à un petit moteur électrique M.

Les étincelles de décharge ainsi obtenues sont, comme on le désirait, extrêmement bruyantes ; elles produisent un bruit assourdissant et comparable à de violentes décharges de mousqueterie. Comme elles sont intermittentes et que deux étincelles successives jaillissent quand les boules occupent dans l'espace des positions différentes, leur ensemble forme un chapelet circulaire très brillant (2). Ce chapelet paraît fixe dans l'espace quand la

(1) Voir *L'Éclairage Électrique*, t. VIII, p. 183, 25 juillet 1896.

(2) On peut compter facilement le nombre des décharges pendant un tour de l'exploseur et voir ainsi que le nombre correspondant à une période du courant primaire du transformateur est proportionnel à l'intensité de ce courant comme M. d'Arsonval l'avait déjà signalé dans une communication faite le 7 avril 1897 à la Société internationale des Électriciens.

durée d'un tour de l'exploseur est un multiple exact de la période du courant primaire. Dans le cas contraire le chapelet semble se mouvoir dans un sens ou dans l'autre avec une vitesse qui dépend de la vitesse angulaire qu'on donne à l'exploseur.

Ce sont deux moulinets de ce genre, dont le diamètre peut atteindre deux mètres, qui doivent décorer les rosaces des travées latérales de la façade du Palais de l'Electricité ; la puissance dépensée sera de 5 à 6 kilowatts par rosace.

II. Dispositif a étincelles longues. — Les étincelles précédentes pourraient atteindre 18 à 20 cm en chargeant le condensateur à 50 000 volts environ ; cette longueur est trop faible pour le trait lumineux devant figurer la foudre. On pourrait, en utilisant la persistance des impressions lumineuses sur l'œil, leur donner une longueur *apparente* plus grande : il suffirait de disposer les boules de l'exploseur dans un plan perpendiculaire à l'axe de rotation de manière à ce que les étincelles jaillissent dans le plan du cercle qu'elles décrivent et de régler la vitesse de rotation de telle façon que les boules se déplacent entre deux décharges juste de la longueur qui les sépare ; on aurait ainsi un trait de feu continu. Comme on peut facilement obtenir 600 décharges par seconde, on pourrait voir, pendant un dixième de seconde, 60 étincelles juxtaposées donnant l'impression d'une étincelle unique d'environ 12 m de longueur.

M. d'Arsonval a préféré ne pas avoir recours à cet artifice et, suivant sa propre expression, les obtenir réellement par un moyen plus « honnête ». Pour cela il a employé un dispositif analogue à celui d'Elihu Thomson et qui ne diffère du précédent que par l'adjonction du transformateur à haute tension T_2 (fig. 2).

Ce transformateur se compose de deux circuits concentriques noyés dans une cuve à huile. Le circuit primaire, en série avec l'exploseur rotatif, se compose d'un tube de cuivre de 13 mm de diamètre extérieur et 1 mm d'épaisseur roulé en serpentin ; il a 80 cm de longueur sur 50 cm de diamètre intérieur et comporte 12 spires. Le circuit induit, concentrique et *intérieur* [1] au circuit inducteur, est formé de 400 tours d'un fil de cuivre nu de 0,5 mm de diamètre enroulé dans une rainure hélicoïdale, de 2 mm de pas, creusée à la surface d'un cylindre d'ébonite de 80 cm de longueur sur 38 cm de diamètre. Les extrémités de ce circuit sortent de la cuve, à un mètre de distance, à travers deux gros cylindres verticaux en micanite.

On obtient ainsi des étincelles très brillantes et très longues. Lorsqu'on les fait éclater entre deux fils parallèles disposés verticalement, elles montent lentement le long de ces fils, en donnant une sorte de flamme dans la partie médiane. Si on les fait éclater à la surface de plaques de marbre recouvertes de limailles métalliques (zinc de préférence) on peut facilement quintupler leur longueur et on a alors l'illusion de nombreux traits de foudre, très brillants, qui se ramifient dans tous les sens à la surface de la plaque.

La puissance dépensée pour la production des étincelles devant figurer la foudre avec laquelle jouera le Génie de l'Electricité sera d'environ 15 kilowatts. Le transformateur primaire sera placé sur le toit du Palais ; l'exploseur rotatif et le transformateur à haute tension seront disposés à quelques mètres plus haut, dissimulés derrière la base de la statue. Deux fils nus de 0,5 mm de diamètre amèneront le courant à haute fréquence aux deux électrodes fixées aux extrémités des bras du Génie.

Etant donnés les résultats obtenus par M. d'Arsonval dans son laboratoire avec un des

[1] Il est préférable de disposer le circuit induit à *l'intérieur* du circuit inducteur plutôt que de faire l'inverse car on utilise ainsi une plus grande variation de flux et on obtient par conséquent une force électromotrice plus élevée.

appareils destinés à être prochainement mis en place, il n'est pas douteux que les effets lumineux demandés par l'architecte se trouvent ainsi réalisés. Espérons donc que rien ne viendra, au dernier moment, empêcher l'application de ce mode inédit de décoration lumineuse du Palais de l'Electricité.

J. BLONDIN.

SYSTÈMES DE TÉLÉGRAPHIE RAPIDE

Par télégraphie rapide nous entendons celle qui se fait avec des appareils d'un rendement beaucoup plus élevé que celui des appareils ordinaires.

Les appareils ordinaires sont : le cadran dans l'ordre des appareils à aiguilles et à signaux fugitifs ; le Morse dans l'ordre des appareils à signaux tracés sur une bande de papier ; le Hughes dans l'ordre des appareils imprimeurs.

CLASSIFICATION DES APPAREILS RAPIDES. — Les appareils rapides se divisent en deux catégories essentiellement différentes :

1° Les appareils rapides *simples*.

2° Les appareils rapides *multiples*.

Les appareils rapides simples ont pour organe principal un transmetteur automatique avec lequel la vitesse de transmission n'est limitée que par la durée minimum qui puisse être laissée aux courants de transmission.

Les appareils rapides multiples se divisent à leur tour en deux catégories bien distinctes : La première, basée sur la *méthode différentielle*, a pour organes fondamentaux des électro-aimants. La deuxième, basée sur la *division du temps*, a pour organe principal un appareil mécanique, régulateur des mouvements synchroniques, appelé *distributeur*.

Aux Etats-Unis un grand nombre de lignes télégraphiques travaillent en quadruplex d'après la méthode différentielle.

Comme inventeurs de ce système quadruplex, on cite en même ligne Edison et Nicholson ; mais les derniers perfectionnements apportés au système pour le rendre définitivement pratique, c'est-à-dire d'un réglage plus sûr et plus régulier sont dûs à différents techniciens dont on ne connaît pas les noms.

Si nous jugeons les difficultés qu'on doit rencontrer dans le réglage d'un système quadruplex d'après celles que l'on éprouve dans le réglage des systèmes duplex elles doivent être très grandes et nous paraissent difficilement surmontables sur des réseaux chargés de conducteurs et où les influences entre fils voisins sont parfois considérables.

En Europe les télégraphes multiples sont peu répandus, sauf en France où l'appareil imprimeur multiple Baudot s'est généralisé ; ils appartiennent à la deuxième catégorie, c'est-à-dire aux appareils multiples basés sur la division du temps.

Les systèmes duplex ou diplex n'y sont même utilisés que dans certains cas spéciaux et à titre exceptionnel sur des lignes où un trafic irrégulier se produit soit à certaines heures du jour, soit à certaines époques de l'année et rend leur emploi favorable à l'écoulement du travail.

Il est à remarquer que les duplex, diplex, quadruplex, ne constituent pas des appareils proprement dits : ce sont des *systèmes* avec lesquels on peut, en principe, doubler, tripler ou quadrupler le rendement de tout appareil, que cet appareil soit simple comme le cadran,

le Morse, le Hughes, ou rapide comme le Wheatstone, ou multiple comme le Meyer, le Baudot et le Munier.

En présence de la merveilleuse propriété de ces *systèmes* on ne s'explique leur emploi restreint et la création d'appareils rapides destinés à les éviter que parce qu'ils n'offrent pas, en raison de la difficulté de leur réglage, le travail régulier dont on a besoin, précisément sur les fils où l'utilité des appareils rapides se fait sentir.

La diversité des appareils utilisés par les administrations ainsi que par les compagnies privées est une preuve que le problème de la transmission des télégrammes est fort complexe, et que l'adoption, c'est-à-dire la mise en service de tel ou tel système, ne dépend pas exclusivement de son rendement mais qu'elle est au contraire souvent due à des considérations d'un tout autre ordre, ce dont nous n'avons pas à nous occuper ici.

Pour se faire une idée exacte de la valeur d'un appareil et pouvoir le comparer utilement à un autre, il est nécessaire non seulement de jeter un coup d'œil rétrospectif sur les principaux appareils imaginés jusqu'à ce jour en vue d'augmenter le rendement d'un fil, mais aussi de savoir quel est le maximum de rapidité auquel on puisse arriver dans la pratique.

L'arsenal des appareils est riche et fécond en renseignements de toutes sortes.

Cependant, aucun des nombreux appareils composant cet arsenal n'offre une solution définitive du problème de la télégraphie rapide.

Du choix d'un système. — En face de la diversité des systèmes, on peut se demander avec juste raison quel est le plus propre à la solution cherchée. En effet :

Faut-il s'adresser aux systèmes électro-magnétiques ou électro-chimiques ?

Ou aux appareils dits simples à signaux et sans synchronisme en leur appliquant un transmetteur automatique ?

Ou aux appareils dits multiples basés sur la *méthode différentielle* et dont les organes fondamentaux sont des organes électro-magnétiques : systèmes duplex, diplex, quadruplex ?

Ou aux appareils simples ou multiples basés sur la *division du temps* et ayant pour organe fondamental un appareil mécanique régulateur des mouvements synchroniques ?

Ou enfin aux appareils mixtes qui, quoique munis d'un distributeur à mouvements synchroniques ne sont pas basés sur la division du temps et ont pour organes fondamentaux des électro-aimants ? ou encore aux systèmes harmoniques ??

D'après les résultats obtenus jusqu'à ce jour les appareils imprimeurs basés sur la division du temps sont ceux qui paraissent les mieux appropriés à un rendement élevé.

Ils se prêtent, en outre, comme les appareils simples à la multiplication due aux systèmes différentiels ce qui fait que leur rendement, quoique plus élevé à l'origine, peut encore être augmenté de la même manière que celui des appareils simples à signaux ou imprimeurs.

Considérations sur les employés et les appareils au point de vue du rendement. — Il y a lieu de se préoccuper dans la création d'un appareil des conditions dans lesquelles le travail de l'employé devra s'effectuer en vue d'atteindre le maximum de rendement.

Avec les appareils ordinaires le rendement dépend exclusivement de la valeur professionnelle de l'employé.

Avec les *appareils rapides simples* le rendement est indépendant de l'habileté de l'employé, c'est-à-dire qu'on peut suppléer au manque de valeur professionnelle par un plus grand nombre d'employés.

En effet : avec ces appareils l'employé n'est plus en rapport direct avec la ligne et son rôle ne consiste, au poste de départ, qu'à préparer dans des conditions déterminées les télégrammes qui seront ensuite confiés au transmetteur automatique, et au poste d'arrivée à traduire le plus rapidement possible les parties de bande qui lui sont dévolues.

Il s'ensuit que la préparation des télégrammes au poste de départ et leur traduction au poste d'arrivée peuvent se faire à l'aide d'un nombre indéterminé d'employés.

Dans ces conditions le rendement de la ligne dépend exclusivement de la vitesse de transmission de l'appareil.

Avec les appareils rapides multiples le rendement dépend au contraire exclusivement de la valeur professionnelle des employés et cette valeur ne peut nullement être remplacée par le nombre.

En effet : avec ces appareils, la ligne, au lieu d'être en relation avec un transmetteur automatique est en relation avec le régulateur des mouvements synchroniques, c'est-à-dire avec le distributeur.

Ce distributeur est divisé en un certain nombre de *secteurs* et chaque secteur est desservi par un employé, aussi bien au poste d'arrivée qu'au poste de départ.

Le rendement théorique d'un secteur est d'un nombre de signaux ou caractères égal au nombre de révolutions du distributeur ; mais, dans la pratique le rendement est subordonné à l'habileté de l'employé transmetteur lequel doit, pour ne pas infliger de perte au rendement partiel dont il est chargé et par suite au rendement total être assez habile pour profiter de chacune des révolutions du distributeur.

Si l'on considère que la vitesse de ces appareils qui était de 90 à 100 tours par minute au Meyer a été portée à 140 et 145 tours au Munier (cette vitesse étant la vitesse maximum de l'appareil Hughes utilisé par M. Munier) et qu'elle est de 165 à 180 tours au Baudot, il est facile de se rendre compte et nul praticien ne l'ignore qu'au delà d'une vitesse de 150 à 160 tours, l'employé transmetteur, astreint à une véritable danse de Saint-Guy, se fatigue rapidement et ne profite qu'irrégulièrement de tous les tours.

C'est donc tourner vite inutilement que de tourner trop vite.

Nous ne sommes entré dans les considérations qui précèdent que pour nous permettre de dire en le démontrant à l'avance que le maximum de rendement ne peut être obtenu qu'à l'aide d'un transmetteur automatique avec lequel toutes les révolutions du distributeur puissent être régulièrement utilisées par tous les secteurs. [1]

Quel que soit d'ailleurs le genre d'appareil utilisé sur un fil, la rapidité de transmission dépend de deux causes essentiellement différentes : l'employé et la ligne.

En ce qui concerne l'employé, elle est limitée comme nous venons de le dire, au nombre de signaux qu'un opérateur peut transmettre avec l'instrument dont il dispose.

En ce qui concerne la ligne, elle dépend de la durée minimum de formation d'un signal, c'est-à-dire de l'intervalle de temps minimum auquel peuvent se succéder les signaux.

Dans le premier cas, elle varie suivant l'habileté professionnelle de l'employé ce qui n'a qu'une importance relative puisque celui-ci peut être remplacé par un transmetteur automatique.

Dans le deuxième cas, elle varie, d'une part suivant la conductibilité de la ligne et la sensibilité des organes récepteurs, mais d'autre part elle dépend principalement du *mode de formation des signaux*.

---

[1] C'est dans ce but que nous avons imaginé le *transmetteur automatique universel* que nous décrirons ultérieurement.

Importance du mode de formation des signaux. — Le mode de formation des signaux est le fondement de tout appareil.

C'est sur lui que repose toute la science télégraphique car c'est lui qui règle le facteur essentiel de toute transmission électrique qui est le *temps*.

La transmission des signaux se décompose en deux temps :

1° Le temps de formation de chaque signal ;

2° Le temps pris entre chaque signal.

La durée de ces deux temps dépend du mode de formation des signaux. En effet : le temps de formation d'un signal dépend exclusivement du nombre d'émissions de courant, longues ou brèves, qui concourent à la formation de ce signal. Il s'ensuit que le nombre total des courants qui doivent être envoyés en un temps donné pour un travail déterminé dépend du mode de formation des signaux.

Si le nombre des courants qui peuvent être envoyés sur un fil et reçus par des organes récepteurs était illimité, il s'en suivrait d'une part que le nombre des courants entrant dans la formation d'un signal n'aurait pas l'importance capitale qu'on est tenu de lui assigner en raison de la limitation du nombre des courants transmissibles en un temps donné et que d'autre part le mode de formation des signaux n'aurait qu'une importance relative ; mais cette limitation existe car elle est due à la *durée de propagation des courants*.

Durée de propagation des courants, son action sur le rendement. — La durée de propagation des courants est si courte qu'on ne la conçoit que difficilement.

Quant aux organes récepteurs on a reconnu dans les expériences poursuivies au moyen des pantélégraphes Caselli, Meyer et d'Arlincourt qu'un récepteur sensible peut enregistrer correctement plus de 100 signaux par seconde et percevoir des courants dont la durée n'est que de 1/500 de seconde.

Dans ces conditions il serait possible d'envoyer sur une ligne et de faire enregistrer par des organes récepteurs convenablement réglés un nombre de signaux formant plus de 2 000 télégrammes par heure.

Mais une télégraphie aussi rapide que celle que nous faisons entrevoir n'a pas encore été réalisée dans la pratique, car, d'une part, la ligne est le siège de phénomènes électriques qui tendent tous à déformer les signaux et à en retarder la transmission et que c'est à les éviter ou à réduire autant que possible leur action nuisible qu'il faut viser quand on veut réaliser une transmission rapide et que, d'autre part, la formation des signaux et leur succession exige un temps qui varie suivant le mode de formation comme nous l'avons dit en commençant ce chapitre.

Avant de signaler les moyens employés pour combattre les obstacles offerts par la ligne et avant d'exposer les différents modes de formation des signaux desquels nous nous proposons de dégager le plus avantageux nous croyons devoir formuler les deux lois fondamentales d'un rendement maximum afin de pouvoir en poursuivre la réalisation en nous servant de comparaisons destinées à en faciliter la compréhension.

Lois fondamentales d'un rendement maximum. — Ces lois sont au nombre de deux :

1° Minimum de temps pour la formation d'un signal ;

2° Minimum de temps entre chaque signal.

Pour satisfaire à la première loi il faut que chaque signal soit formé d'une seule émission et que cette émission soit brève.

Pour satisfaire à la deuxième loi il faut un procédé de transmission et de réception qui permette aux signaux de se succéder sans interruption.

Les obstacles à la réalisation de ces deux lois sont exclusivement contenus dans le mode de formation des signaux comme nous l'expliquerons plus loin. Quant aux obstacles offerts par la ligne ils tiennent à des causes différentes dont la principale provient des variations qui se produisent dans la durée de propagation des courants par suite des états électriques différents dans lesquels peut se trouver le conducteur au moment de l'émission.

Les variations dans la durée de propagation étant dues aux variations dans la résistance qu'offre la ligne au passage du courant c'est-à-dire à *la charge* qu'elle doit avoir pour assurer le fonctionnement des organes récepteurs, puis à *la décharge* c'est-à-dire son retour à l'état neutre où elle doit être ramenée avant de pouvoir recevoir utilement une nouvelle charge ; il s'ensuit que plus le nombre de charges et de décharges à effectuer pour produire un travail déterminé est grand plus le temps employé est long et plus les difficultés inhérentes aux nombreux changements d'état de la ligne et aux nombreux mouvements d'armatures des électros récepteurs sont grandes.

Courants inversés. — Le moyen le plus énergique pour combattre les difficultés provenant de la ligne et accroître la rapidité de transmission des émissions consiste dans l'emploi de courants inversés c'est-à-dire dans le renversement du sens du courant après chaque signal de manière à neutraliser rapidement la portion de charge restant sur le fil par de l'électricité de signe contraire.

Ce moyen est particulièrement précieux sur les câbles sous-marins où sans lui la télégraphie sous-marine serait d'une extrême lenteur.

Sur les fils aériens son emploi n'est pas indispensable comme nous le démontrerons lorsque nous exposerons le mode de formation des signaux dont nous nous sommes servi, mais il y a avantage à l'employer lorsqu'il s'agit d'envoyer sur un fil un nombre d'émissions supérieur à celui que pourrait écouler ce fil en n'utilisant qu'un sens du courant c'est-à-dire en ne se servant que de la terre comme moyen de décharge.

Si au contraire le nombre d'émissions à écouler pour un travail déterminé n'est pas supérieur à celui que peut écouler normalement ce fil il y a avantage à n'utiliser qu'un sens du courant en raison des inconvénients qui résultent de l'emploi de courants inversés tant au point de vue de l'induction considérable qu'exerce sur les conducteurs voisins un fil sur lequel circulent des courants intenses de signes contraires qu'au point de vue de la détérioration qu'exercent ces mêmes courants sur le fil lui-même.

Quoique l'emploi des courants inversés ait permis à M. Wheatstone de réaliser l'un des plus beaux appareils à transmission rapide que possède la télégraphie et à M. Baudot d'augmenter la vitesse de rotation de ses distributeurs, cet emploi ne s'explique et ne se justifie néanmoins que par la nécessité où ces inventeurs se sont trouvés d'y avoir recours pour obtenir un grand rendement en se servant : le premier des signaux Morse, le second d'un *mode de formation des signaux* qui nécessite jusqu'à 5 émissions de même signe pour former un caractère.

Malgré la très grande rapidité avec laquelle ces deux inventeurs transmettent leurs émissions ils n'obtiennent pas, par ce fait, un rendement supérieur à celui qu'ils obtiendraient avec trois ou quatre fois moins d'émissions c'est-à-dire avec une rapidité trois ou quatre fois moindre en utilisant un mode de formation des signaux qui n'exigerait par exemple qu'une émission par caractère comme au Hughes ou deux au maximum comme au Munier.

Cependant si du petit nombre seul des courants dépendait la rapidité de la transmission

il s'en suivrait que l'appareil Hughes qui n'emploie qu'une émission brève par caractère à imprimer serait le plus rapide, ce qui n'est pas.

Mais il est à remarquer que la rapidité de cet appareil n'est entravée que par le temps perdu entre les courants émis sur la ligne en raison même des dispositions mécaniques de l'appareil et que le principe sur lequel il repose : unité d'émission par unité de caractère, n'en est pas moins celui qui doit servir d'objectif afin de s'en rapprocher le plus possible si on ne peut l'atteindre.

(*A suivre.*)

MUNIER.

SUR L'EXPRESSION DE LA PUISSANCE

AVEC LA MÉTHODE DES GRANDEURS IMAGINAIRES

Dans un article récent de cette revue [1], M. Guilbert, traitant de l'expression de la puissance avec la méthode des imaginaires de M. Steinmetz donne une règle mnémotechnique pour trouver facilement les expressions des composantes de la puissance apparente.

Cette règle consiste à changer i en $-i$, $-i$ étant l'unité imaginaire, dans l'une des quantités [E] ou [I], ou, ce qui revient au même, à changer le signe de l'un des arguments.

Cette règle est d'ailleurs donnée par M. Janet dans son Cours d'Electrotechnique à l'Ecole supérieure d'électricité, et elle est évidemment moins sujette à discussion, — puisque c'est une simple règle mnémotechnique, — que le procédé de calcul employé par M. Steinmetz pour arriver au même résultat.

Cependant il est possible de donner un fondement ou une raison logique à cette règle et de démontrer en même temps que la difficulté qui surgit lorsque l'on tente de représenter la puissance par une quantité complexe, provient uniquement d'une convention que l'on est obligé de faire tacitement dans la représentation d'une fonction harmonique par une quantité complexe.

Avant de parler de cette représentation, rappelons en quelques mots les différents procédés de représentation graphique des fonctions harmoniques. On peut en distinguer quatre.

1° *Représentation sinusoïdale.* — Cité pour mémoire, ce procédé est peu rapide, peu synthétique et inapplicable lorsque dans une même question entrent plusieurs fonctions périodiques.

2° *Représentation polaire.* — Au lieu des coordonnées cartésiennes, si on adopte les coordonnées polaires en prenant la phase ωt pour angle polaire, on voit immédiatement que l'équation

$$y = A \cos (\omega t + \varphi)$$

représente un cercle dont le diamètre fait un angle φ avec l'axe polaire Ox (fig. 1). Le diamètre de ce cercle est égal à l'amplitude A de la fonction.

3° *Représentation cinématique.* — L'équation

$$y = A \cos (\omega t + \varphi)$$

[1] *L'Éclairage Électrique*, t. XXII, p. 361.

montre que y est à chaque instant égal à la projection de A sur un axe fixé faisant avec y un angle égal à la phase $\omega t + \varphi$. La fonction harmonique pourra donc être représentée par un rayon vecteur constamment égal à A et tournant avec une vitesse angulaire égale à ω. Ce vecteur fait un angle φ avec le vecteur de phase ωt (fig. 2).

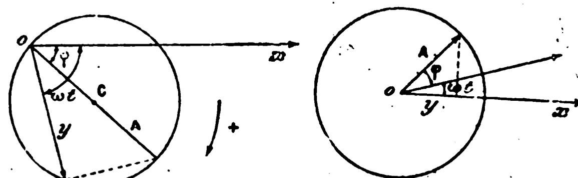


Fig. 1 et 2.

4° *Représentation vectorielle ou de Fresnel, dite de Blakesley.* — L'opération qui consiste à projeter les rayons vecteurs sur un axe fixe est superflue, ainsi que de les supposer animés de la vitesse angulaire ω. La fonction se trouve tout aussi bien représentée par son rayon vecteur immobile et par son angle avec le vecteur voisin qui est égal à la différence de leurs phases. C'est le principe de la représentation de Fresnel.

On sait qu'en adoptant cette représentation le vecteur représentant la somme de fonctions harmoniques est la somme géométrique des vecteurs représentant les fonctions termes de la somme. C'est cette propriété d'ailleurs immédiate qui est la source de toute la fécondité de la représentation vectorielle (1).

Tant que l'on n'a à considérer que des sommes, il ne se présente aucune difficulté. Il en est autrement lorsque l'on passe au produit de deux fonctions harmoniques.

Cependant dans ce cas si le produit de deux vecteurs ne peut guère être représenté par un autre vecteur, du moins on peut avoir une représentation très concrète du produit moyen de deux vecteurs dans la notion du *produit géométrique de deux vecteurs* (2) et l'on

---

(1) Dans la représentation cinématique, on suppose l'axe de projection fixe et le rayon vecteur mobile avec la vitesse ω. Comme dans toute question de mouvements relatifs, il est évident que l'on obtiendra le même résultat, si on suppose le vecteur fixe comme dans la représentation vectorielle et l'axe de projection animé d'une vitesse angulaire $-\omega$.

On voit immédiatement que le lieu des points de projection sur l'axe mobile de l'extrémité du vecteur fixe est un cercle et que ce cercle n'est autre que le cercle de la représentation polaire.

On en conclut que la représentation vectorielle est identique à la représentation polaire avec cette différence qu'au lieu de représenter la fonction par un cercle, on la représente par le diamètre de ce cercle.

De plus la représentation cinématique et la représentation vectorielle ne diffèrent que par une distinction de mouvements relatifs.

On voit donc que *ces trois dernières représentations ne sont au fond qu'une seule et même chose.*

(2) Voyons d'abord ce que l'on obtient si l'on fait le produit de deux fonctions harmoniques

$$y_1 = A_1 \cos(\omega t + \varphi_1)$$
$$y_2 = A_2 \cos(\omega t + \varphi_2).$$

Le produit est

$$y_1 y_2 = \frac{1}{2} A_1 A_2 [\cos(2\omega t + \varphi_1 + \varphi_2) + \cos(\varphi_1 - \varphi_2)].$$

Donc le produit de deux fonctions harmoniques est une fonction périodique de fréquence double, mais *n'est plus une fonction harmonique et ne peut par suite être représenté par un vecteur.*

Il se compose d'une fonction harmonique de fréquence double

$$\frac{1}{2} A_1 A_2 [\cos(2\omega t + \varphi_1 + \varphi_2)]$$

et d'une constante

$$\frac{1}{2} A_1 A_2 \cos(\varphi_1 - \varphi_2).$$

Or, ce que l'on considère habituellement est moins le produit variable $y_1 y_2$ que l'intégrale

$$\frac{1}{T} \int_0^T y_1 y_2 \, dt$$

que l'on peut appeler la valeur moyenne du produit ou le produit moyen pendant une période, il est facile de voir que cette intégrale se réduit à

$$\frac{1}{2} A_1 A_2 \cos(\varphi_1 - \varphi_2)$$

la première intégrale, valeur moyenne d'une fonction harmonique pendant une période, étant nulle. Si on divise la longueur de chaque vecteur par $\sqrt{2}$, on obtient le *vecteur efficace.* Le produit moyen sera donc

$$A_{1eff} . A_{2eff} \cos(\varphi_1 - \varphi_2).$$

Il est donc égal au produit géométrique des vecteurs efficaces qui représentent les fonctions harmoniques.

sait que la considération des produits géométriques est très féconde à cause de la propriété fondamentale contenue dans l'énoncé suivant :

Le produit géométrique de deux vecteurs résultants est égal à la somme des produits géométriques des vecteurs composants pris deux à deux.

Après avoir rappelé les principes de la représentation des fonctions harmoniques par les vecteurs, abordons la.

Représentation des fonctions harmoniques par des quantités complexes. — Cette représentation peut se faire d'après deux méthodes : la première est celle de M. Steinmetz, la seconde est indiquée par M. Blondel qui l'attribue à MM. Cornu, Poincaré, Vaschy et autres savants français [1].

1° *Méthode de M. Steinmetz.* — Nous avons représenté la fonction harmonique

$$y = A \cos(\omega t + \varphi)$$

par un vecteur de grandeur A, et faisant un angle φ avec l'origine des phases.

Or on sait qu'en analyse, depuis Wallis, on représente la quantité complexe

$$y = A(\cos\varphi + i \sin\varphi)$$

par le même vecteur.

On conviendra donc par une assimilation naturelle de représenter la fonction harmonique

$$y = A \cos(\omega t + \varphi)$$

par la quantité complexe,

$$[y] = A(\cos\varphi + i \sin\varphi).$$

On voit que dans cette représentation, la variable indépendante, le temps, disparaît comme dans la représentation graphique de Fresnel. On va voir que ce qui est un avantage dans celle-ci est un inconvénient dans celle-là.

Remarquons que l'on peut aussi écrire, d'après une identité connue d'analyse

$$[y] = Ae^{i\varphi}$$

2° *Méthode de MM. Cornu, Poincaré, Vaschy, etc...* — Une fonction harmonique sinus ou cosinus peut toujours se transformer en une fonction exponentielle à variable imaginaire. Ainsi on a :

$$\cos x = \frac{1}{2}[e^{ix} + e^{-ix}]$$

La fonction harmonique

$$y = A(\cos\omega t + \varphi)$$

peut s'écrire :

$$y = \frac{A}{2}[e^{i\omega t + i\varphi} + e^{-i\omega t - i\varphi}]$$

---

(1) Voy. ***Lumière Électrique***, t. L, p. 521. M. Blondel indique les sources suivantes : Cornu, *Comptes rendus*, 13 juin 1887. Problèmes de synchronisation ; Poincaré, *Leçons sur l'optique* ; Vaschy, *Cours d'Électricité, Courants alternatifs* ; Chaperon, *Journal de Physique*, 1890, p. 485, et s'exprime ainsi au sujet de cette méthode :

« Leur méthode, extrêmement simple, consiste à conserver pour les fonctions harmoniques, l'expression première des intégrales, c'est-à-dire la forme d'exponentielles imaginaires. Elle diffère de celle de M. Steinmetz en ce qu'elle contient le temps, ce qui me paraît presque un avantage, car cela permet la dérivation des fonctions.

En pratique, le temps disparaît de lui-même parce que les équations contiennent $e^{i\omega t}$ en facteur commun. »

ou encore

$$y = \frac{1}{2}\left[Ae^{i\varphi}.e^{i\omega t} + Ae^{-i\varphi}.e^{-i\omega t}\right]$$

Or on sait d'après le calcul des imaginaires que multiplier une quantité imaginaire par $e^{i\alpha}$ revient à imprimer au vecteur représentatif une rotation $+\alpha$.

Donc l'égalité précédente signifie que y, quantité réelle, est la demi-somme de deux imaginaires conjuguées, représentées, l'une par un vecteur de longueur A qui fait un angle φ avec un axe faisant une angle ωt avec l'axe des quantités réelles, c'est-à-dire tournant avec la vitesse ω, l'autre par un vecteur A, faisant un angle $-\varphi$ avec l'axe tournant avec la vitesse $-\omega$ à chaque instant symétrique du précédent (fig. 3).

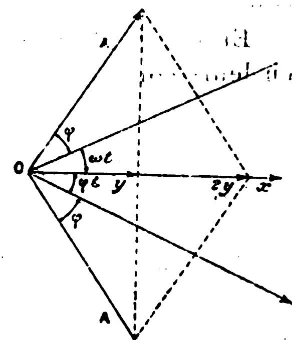


Fig. 3.

Or c'est ici que, tacitement, on fait une convention quand on cherche à représenter une quantité réelle par une quantité imaginaire.

Puisque, se dit-on, tout ce qui se passe dans le sens $+\omega$ est symétrique de ce qui se passe dans le sens $-\omega$, pourquoi s'embarrasser dans les calculs des composantes tournant dans ce dernier sens ? Il n'est utile de considérer que les composantes tournant dans le sens ω, quitte ensuite, tous calculs faits, de penser à la composante négligée pour repasser à la quantité réelle.

On supprime donc l'une des composantes de y et on représente y par l'imaginaire

$$[y] = Ae^{i\varphi}e^{i\omega t}.$$

Cette représentation ne diffère de la précédente que par l'introduction du facteur $e^{i\omega t}$ qui exprime le mouvement du vecteur autour du point O.

En somme la représentation de M. Steinmetz diffère de la représentation des savants français de la même manière que la représentation vectorielle diffère de la représentation cinématique [1].

Le calcul des fonctions harmoniques par l'emploi des quantités complexes ne présente

(1) Ainsi que l'a indiqué M. Blondel, cette représentation présente sur celle de M. Steinmetz, des avantages dont le plus important est le suivant :

L'imaginaire représentant la dérivée d'une fonction harmonique est égale à la dérivée de l'imaginaire représentant la fonction.

En effet, la fonction harmonique est la demi-somme de deux imaginaires conjuguées dont la première représente la fonction. Donc la dérivée sera aussi la demi-somme des deux dérivées, imaginaires conjuguées, dont la première servira pour représenter cette dérivée.

Ainsi si l'on a :

$$[y] = Ae^{i\varphi}e^{i\omega t}$$

on aura :

$$\left[\frac{dy}{dt}\right] = i\omega.Ae^{i\varphi}.e^{i\omega t} = i\omega[y].$$

On retrouve ainsi la règle de dérivation d'une fonction harmonique :

Multiplier le module par ω et imprimer une rotation $+\frac{\pi}{2}$ (multiplier par i). En dérivant encore un fois

$$\left[\frac{d^2y}{dt^2}\right] = i^2\omega^2.Ae^{i\varphi}e^{i\omega t} = -\omega^2[y].$$

Cette relation a lieu aussi bien entre imaginaires qu'entre quantités réelles, comme d'ailleurs toutes les relations où l'unité imaginaire i, n'entre pas explicitement.

L'emploi des imaginaires sous cette dernière forme permet de traiter rapidement l'équation

$$y = Rx + L\frac{dx}{dt}.$$

Supposons que x soit une fonction harmonique de la forme

$$x = x_0 \cos(\omega t + \varphi)$$

x sera donc représenté par

$$[x] = x_0 e^{i\omega t}.e^{i\varphi}$$

aucune difficulté tant que l'on n'a que des sommes à effectuer. Que fait-on en effet dans ce cas ? On décompose chaque fonction du problème en deux composantes imaginaires conjuguées et on obtient ainsi deux séries de composantes. Sachant *a priori* que le résultat des opérations effectuées sur l'une des séries est conjugué du résultat des opérations effectuées sur l'autre, il suffit évidemment de faire ces opérations sur l'une des séries et il sera facile de passer de la grandeur imaginaire ainsi obtenue à la quantité réelle qu'elle représente.

Mais il se présente d'autres difficultés quand il s'agit du produit de deux fonctions harmoniques. Dans ce cas, il est évident que l'on n'a pas le droit de négliger l'une des composantes conjuguées.

En effet, soient y_1 et y_2 deux fonctions harmoniques. Supposons qu'on les décompose en leurs composantes imaginaires conjuguées

$$y_1 = \frac{1}{2}(A_1 + B_1) \qquad y_2 = \frac{1}{2}(A_2 + B_2)$$

Par définition, on aura :

$$[y_1] = A_1, \quad [y_2] = A_2.$$

Il est certain que $y_1 y_2$ sera la demi-somme de deux imaginaires conjuguées

$$y_1 y_2 = \frac{1}{2}(\alpha + \beta).$$

Convenons de conserver la même définition pour représenter $y_1 y_2$ et posons

$$[y_1 y_2] = \alpha.$$

Mais avec cette convention, il est facile de voir que l'égalité

$$[y_1 y_2] = [y_1][y_2]$$

est fausse.

En effet

$$\alpha + \beta = [A_1 + B_1][A_2 + B_2] \qquad = A_1 A_2 + A_1 B_2 + B_1 B_2 + B_1 A_2.$$

La quantité $B_1 B_2 + B_1 A_2$ est conjuguée $A_1 A_2 + A_1 B_2$, on peut donc poser

$$\alpha = A_1 A_2 + A_1 B_2 \qquad \beta = B_1 B_2 + B_1 A_2.$$

Donc l'égalité $A_1 A_2 = \alpha$ ne peut pas être vraie.

Raisonnons sur un exemple. Considérons deux fonctions harmoniques décomposées en leurs composantes imaginaires,

$$y_1 = \frac{A_1}{2} e^{i\varphi_1} e^{i\omega t} + \frac{A_1}{2} e^{-i\varphi_1} e^{-i\omega t} \qquad y_2 = \frac{A_1}{2} e^{i\varphi_2} e^{i\omega t} + \frac{A_2}{2} e^{-i\varphi_2} e^{-i\omega t}.$$

---

et pour $\frac{dx}{dt}$ on aura:

$$\left[\frac{dx}{dt}\right] = i\omega . x_0 e^{i\omega t} . e^{i\varphi}$$

et l'on aura pour représenter y

$$[y] = (R + i\omega L) x_0 e^{i\omega t} e^{i\varphi}$$

c'est-à-dire

$$[y] = (R + i\omega L)[x]$$

Si x est le courant produit par une force électromotrice alternative y dans un circuit de résistance R et d'inductance L, la quantité $R + i\omega L$ est ce que M. Steinmetz appelle l'*impédance imaginaire* et la formule précédente est la généralisation de la loi d'Ohm appliquée aux courants alternatifs.

La formule reste vraie avec la représentation de M. Steinmetz puisqu'il suffit de diviser les deux membres par $e^{i\omega t}$, mais la démonstration en serait beaucoup plus laborieuse en n'employant que les imaginaires de cet auteur.

Nota. — M. Steinmetz trouve $R - i\omega L$ pour l'impédance imaginaire. Cette différence provient uniquement du choix des axes coordonnés par rapport au sens de rotation positif.

Si on fait le produit, on aura les quatre termes qui constituent deux imaginaires conjuguées

$$y_1 y_2 = \frac{A_1 A_2}{4} e^{i(\varphi_1+\varphi_2)} e^{2i\omega t} + \frac{A_1 A_2}{4} e^{-i(\varphi_1+\varphi_2)} e^{-2i\omega t} + \frac{A_1 A_2}{4} e^{i(\varphi_1-\varphi_2)} + \frac{A_1 A_2}{4} e^{-i(\varphi_1-\varphi_2)}.$$

On arriverait d'ailleurs au même résultat en décomposant en ses composantes imaginaires chacun des termes réels du produit $y_1\, y_2$

$$y_1 y_2 = \frac{1}{2} A_1 A_2 [\cos(2\omega t + \varphi_1 + \varphi_2) + \cos(\varphi_1 - \varphi_2)].$$

On voit donc que $y_1\, y_2$ est la demi-somme de deux imaginaires conjuguées.

Ici encore convenons de prendre l'une de ces imaginaires pour représenter $y_1 y_2$ et posons par exemple

$$[y_1 y_2] = \frac{A_1 A_2}{2} e^{i(\varphi_1+\varphi_2)} e^{2i\omega t} + \frac{A_1 A_2}{2} e^{i(\varphi_1-\varphi_2)}.$$

Remarquons que le produit $[y_1]\,[y_2]$ ne donnerait que le premier terme de $[y_1 y_2]$. Mais $[y_1 y_2]$ se déduit de $y_1 y_2$ de la même manière que $[y_1]$ se déduit de y_1.

Si des produits instantanés on passe aux intégrales c'est-à-dire aux produits moyens pendant une période, on aura

$$\frac{1}{T}\int^{T} [y_1 y_2] dt = \frac{A_1 A_2}{2} e^{i(\varphi_1-\varphi_2)}$$

car l'intégrale du premier terme est nulle.

Si au lieu des amplitudes on considère les valeurs efficaces, on aura :

$$\frac{1}{T}\int_0^{T} [y_1 y_2] dt = A_1^{eff} A_2^{eff} e^{i(\varphi_1-\varphi_2)}$$

Remarquons que cette valeur se déduit toujours par la même règle de

$$\frac{1}{T}\int_0^{T} y_1 y_2 dt = A_1^{eff} A_2^{eff} \cos(\varphi_1 - \varphi_2)$$

— *Nous retrouvons ainsi l'expression imaginaire de la puissance telle qu'elle a été donnée par M. Steinmetz*

$$\frac{1}{T}\int_0^{T} [y_1 y_2]\, dt = A_1^{eff} A_2^{eff} [\cos(\varphi_1 - \varphi_2) + i \sin(\varphi_1 - \varphi_2)].$$

Le premier terme

$$A_1^{eff} A_2^{eff} \cos(\varphi_1 - \varphi_2)$$

est la *puissance wattée* et le coefficient de i

$$A_1^{eff} A_2^{eff} \sin(\varphi_1 - \varphi_2).$$

est la *puissance déwattée.*

Remarquons que si dans le produit $y_1 y_2$ nous avions négligé la seconde imaginaire au lieu de la première, nous aurions été conduit à représenter $y_1 y_2$ par

$$[y_1 y_2] = \frac{A_1 A_2}{2} e^{-i(\varphi_1+\varphi_2)} e^{-2i\omega t} + \frac{A_1 A_2}{2} e^{-i(\varphi_1-\varphi_2)}$$

et l'intégrale serait alors :

$$\frac{1}{T}\int_0^T [y_1 y_2]\, dt = \frac{A_1 A_2}{2}\, e^{-i(\varphi_1-\varphi_2)}$$
$$= \frac{A_1 A_2}{2}\left[\cos(\varphi_1-\varphi_2) - i \sin(\varphi_1-\varphi_2)\right].$$

En d'autres termes la puissance wattée est restée la même et la puissance déwattée a changé de signe.

— Nous avons essayé par les considérations précédentes de montrer comment on peut arriver uniquement par des raisons d'analogie à la notion de deux composantes de la puissance imaginaire. Nous avons en même temps montré que la difficulté qui se présente pour cette représentation et qui fait que l'on ne peut obtenir l'expression de la puissance en multipliant simplement les deux valeurs imaginaires de E et de I, provient de la convention faite tacitement quand on néglige l'une des composantes imaginaires pour représenter E ou I par l'autre composante conjuguée.

H. Sire de Vilar,
Ingénieur des Arts et Manufactures.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

DISTRIBUTION

Limites de la transmission de la puissance à grande distance, par **W. E. Goldborough**. *Electrical Review* (Londres), t. XXVI, p. 391.

Aujourd'hui les bornes auxquelles se sont arrêtés les ingénieurs pour les transports de force motrice à grande distance à l'aide d'électricité sont 50 000 volts et 160 km.

Il est acquis que la puissance peut être transmise sous 40 000 volts avec toutes chances de succès. — On a surmonté, pour cette tension, toutes les difficultés d'isolation, de dispersion par les lignes et de protection contre la foudre, et ceci sous les climats les plus défavorables.

Plus on augmente la tension sur une ligne de transmission, moins l'isolation de la ligne est affectée par les conditions atmosphériques. Si donc des isolateurs ont supporté un essai de laboratoire à haut voltage, ils donneront probablement toute satisfaction lorsqu'ils seront mis en service sur la ligne, car l'énergie dissipée par dispersion autour d'un isolateur humide contribue à le sécher et la répulsion électrostatique des particules de vapeur s'oppose à toute accumulation ultérieure d'humidité. La pleine tension ne doit jamais d'ailleurs être mise brusquement sur une ligne qui est restée quelque temps sans servir. Il convient de fermer le circuit avant que les génératrices soient complètement excitées, pour arriver ensuite progressivement au voltage normal. De la sorte, la ligne est séchée avant qu'on ait atteint le voltage maximum et le danger d'avaries est très diminué.

Un obstacle formidable à l'emploi de très hautes tensions, c'est la dispersion de l'énergie entre les lignes adjacentes, dès qu'on atteint 60 000 volts.

Dans les pays où il y a sans cesse des pluies et des tourmentes de neige, l'expérience a montré que la dispersion était peu importante à 40 000 volts, et on est autorisé à penser que dans toutes les régions, on pourra transmettre l'énergie sous 100 000 volts avec une dispersion inférieure à 160 volts par kilomètre, si les conducteurs sont supportés sur des lignes de poteaux parallèles, espacés de plus de 6 mètres. Dans ces conditions, la ligne aurait un facteur d'impédance d'environ 1,30.

On ne peut formuler de loi définitive sur les pertes par dispersion entre les conducteurs : on sait que la dispersion par des fils de petite section est plus grande que par des fils de grande section, toutes choses égales d'ailleurs : de plus, pour des diamètres de conducteurs, entre 3,8 mm et 19 mm, la dispersion est comprise entre 65

et 185 watts par kilomètre, s'il existe entre le voltage du système et la distance entre fils la relation.

$$V = 10 + D.$$

dans laquelle V est exprimé en kilovolts et D, distance entre les fils, en décimètres.

Un autre facteur ne doit pas être perdu de vue quand on cherche à déterminer le voltage le plus économique : c'est le courant de charge qui existe dans tout système de transmission; mais il est souvent trop faible pour être décelé.

Ce courant n'est pas une composante déwattée du courant de la ligne, dans le sens ordinaire du terme : il est en avance de moins de 45° sur la force électromotrice, et diminue de valeur à mesure que l'on s'éloigne de la station génératrice. L'augmentation relative du courant que doit fournir cette station est donc d'autant plus considérable que le voltage est lui-même plus grand.

On pense généralement que plus le voltage est grand, plus le transport sera économique. On voit que ceci n'est pas toujours vrai : pour chaque cas, au contraire, le point de l'installation génératrice et de la ligne limite le voltage le plus économique, et ce sont questions qui doivent être examinées de très près.

Cependant toutes les considérations financières et autres amènent à cette conclusion que, lorsque le charbon est rare et que l'industrie a besoin de force motrice, on peut réaliser une entreprise rémunératrice en transportant l'énergie électrique jusqu'à 800 km de son point de production.

J. G.

MAGNÉTISME

Nouvelle méthode pour déterminer les courbes d'hystérésis pour les variations rapides du champ magnétisant, par **O.-M. Corbino**. *L'Elettricista*. t. IX, 1er janvier 1900.

Hopkinson et Maurain ont, par des méthodes assez voisines, cherché à obtenir par points la courbe d'hystérésis en déterminant pour les valeurs successives de l'intensité du champ magnétisant, le flux d'induction correspondant. Ewing a construit un appareil qui fournit le tracé automatique de la courbe [1].

[1] Une littérature très détaillée de la question se trouve dans un fascicule de la collection *Scientia* : le Magnétisme du fer, par Maurain.

La première méthode présente de grandes difficultés expérimentales; à la seconde on peut objecter que la courbe est déformée par l'inertie des mécanismes qui en fournissent le tracé. M. Corbino propose, pour étudier l'hystérésis dans le cas de variations très rapides du champ, comme celles produites avec un interrupteur de Wehnelt par exemple, d'employer l'action d'un champ magnétique sur un tube de Braun.

Dans un plan normal à l'axe du tube (fig. 1) on

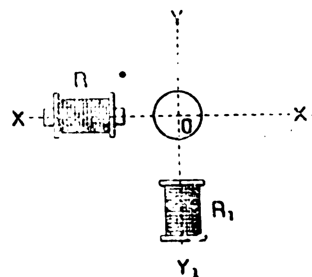


Fig. 3.

place une bobine sans fer R_1 et une bobine à noyau R, dont les axes sont rectangulaires. Les deux enroulements sont parcourus par un même courant variable. L'action de chaque bobine sur le cercle fluorescent O du tube sera de lui communiquer un mouvement oscillatoire dans la direction de l'autre bobine; ainsi R_1 produira un déplacement dans la direction xx_1.

Si la perméabilité du fer était exactement proportionnelle à l'intensité du champ, le mouvement résultant serait rectiligne quelque soit la loi de variation du champ. Mais, avec la variation connue de la perméabilité, le cercle se déplacera suivant une courbe fermée qui sera précisément la courbe d'hystérésis. Suivant la loi du mouvement, tout en conservant la forme de la courbe, le cercle se déplacera plus ou moins rapidement en certaines régions et la courbe ne paraîtra pas uniformément lumineuse.

Il est nécessaire que l'intensité du courant atteigne dans les périodes successives les mêmes valeurs extrêmes, sans quoi par suite de la persistance des impressions sur la rétine, on observerait le résultat de la superposition de courbes diverses. L'avantage du procédé est de fournir la même courbe quelque soit la loi de variation entre les mêmes limites du champ magnétisant, sans faire intervenir d'inertie mécanique.

Si l'on observait des courbes différentes avec

****

la loi de variation du champ magnétique, il ne faudrait pas en conclure à un retard de l'aimantation sur le champ, mais à un *effet de temps* [1]. Comme il est d'ailleurs possible d'annuler l'influence des courants dans la masse de fer, on pourrait ainsi décider l'importante question de l'existence de ces effets de temps.

La méthode proposée par M. Corbino est susceptible d'indiquer des propriétés intéressantes du fer pour des périodes quelconques de la variation de l'intensité du champ, peut-être même pour des périodes de l'ordre de celles des ondes hertziennes, si l'on admet toutefois que l'action du champ sur les rayons cathodiques est instantanée.

Quand la période du champ est inférieure à l'intervalle qui sépare deux décharges successives dans le tube, le petit cercle se produit en l'un des points de la courbe que l'on aurait s'il était continuellement lumineux. Si l'on a affaire à des oscillations électriques, on aura dans les bobines une succession d'oscillations amorties, le cercle se produira non plus sur le contour de la courbe mais sur toute l'aire qu'elle enveloppe. Si le fer ne s'aimante pas pour de tels courants, le cercle se déplacera seulement dans le sens xx_1.

Dans tous les cas, il est utile d'intercepter l'action directe de la bobine magnétisante à l'aide d'une lame métallique, et de la diminuer en donnant à cette bobine un nombre de tours de fil très différent de celui de l'autre enroulement. G. G.

Influence du magnétisme sur les propriétés thermo-électriques du bismuth et des alliages bismuth-étain, par **G. Spadavecchia**. *Il Nuovo Cimento*, t. IX, p. 432, juin 1899.

Grimaldi [2] a étudié l'influence du magnétisme sur le pouvoir thermo-électrique du bismuth pur et sur celui du bismuth commercial, en les soumettant à des champs magnétiques compris entre 269 et 4702 C. G. S. Les conclusions de son travail sont que le bismuth pur augmente de pouvoir thermo-électrique sous l'action du magnétisme, l'augmentation est proportionnelle à l'intensité du champ magnétique; au contraire le bismuth commercial éprouve un affaiblissement du pouvoir thermo-électrique, qui décroît quand la température augmente et croît avec l'intensité du champ; plus le pouvoir thermo-électrique d'un couple est petit et plus sa sensibilité au magnétisme est grande.

Spadavecchia pour compléter cette étude et expliquer ces différences a expérimenté sur les alliages du bismuth avec le plomb et l'étain; les résultats fournis par les alliages plomb-bismuth ont déjà été publiés dans ce journal [1]; voici les nombres obtenus avec les alliages bismuth-étain; le tableau ci-joint donne seulement les nombres correspondant aux valeurs extrêmes du champ employé par l'auteur, quoique les expériences aient en général porté sur cinq valeurs différentes; la première colonne du tableau indique la composition de l'alliage, la deuxième la température en degrés centigrades, la troisième la force électromotrice E du couple lorsqu'il n'est pas soumis à l'influence d'un champ magétique, la quatrième l'intensité H du champ en unités C. G. S., la suivante la valeur correspondante E' de la force électromotrice, et la dernière la valeur du rapport $\frac{E'-E}{E}$, le signe + indique que l'alliage est positif par rapport au cuivre qui forme le deuxième métal du couple, le signe — qu'il est négatif par rapport au cuivre. Les signes + placés devant les valeurs de l'intensité H du champ correspondent à un sens du courant d'excitation et les signes — au sens contraire.

La conclusion du travail de Spadavecchia est la suivante :

Le variation de la force électromotrice des alliages de bismuth et d'étain sous l'influence du champ magnétique croît avec l'intensité du champ.

Le changement de pouvoir thermo-électrique $\left(\frac{-E'E}{E}\right)$ n'est pas le même lorsque le sens de l'aimantation est renversé.

Sous l'influence d'un champ magnétique donné la variation du pouvoir thermo-électrique diminue à partir du bismuth pur jusqu'à l'alliage à 0,113 p. 100 d'étain, en changeant de signe pour un alliage compris entre 0,056 et 0,113 p. 100. Ensuite, la variation croît jusqu'à un deuxième changement de signe correspondant

[1] Maurain. *Loc. cit.*

[2] *Il Nuovo Cimento*, série 3e, t. XXII, p. 123, 1897; et *Rendic. dei Lincei*, t. IV, p. 132, 1888.

[1] T. XXI, p. 309, 25 novembre 1899.

POURCENTAGE D'ÉTAIN	t	E	H	E'	$\frac{E' - E}{E}$
P. 100	Degrés C	Volt	C. G. S.	Volt	
o (Bi-pur)	21,8	0,00136	+ 2 045	0,00140	+ 0,029
			+ 4 560	0,00161	+ 0,154
			— 1 910	0,00140	+ 0,029
			— 4 510	0,00162	+ 0,162
0,056	20,2	0,00488	+ 2 020	0,00492	+ 0,0082
			+ 4 575	0,00514	+ 0,0532
			— 1 820	0,00521	+ 0,0676
			— 4 520	0,00565	+ 0,1577
0,113	22,2	0,00139	+ 2 020	0,00099	— 0,2325
			+ 4 320	0,00076	— 0,4107
			— 3 090	0,00122	— 0,0542
			— 4 220	0,00113	— 0,1240
0,170	22,4	0,000845	+ 2 620	0,000822	— 0,0277
			+ 4 280	0,000709	— 0,1609
			— 2 620	0,000781	— 0,0754
			— 4 430	0,000704	— 0,1661
0,237	23,7	0,000842	+ 2 050	0,000801	— 0,0487
			+ 4 520	0,000696	— 0,1733
			— 1 970	0,000829	— 0,0154
			— 4 500	0,000744	— ϙ,1163
2	21,1	0,000407	+ 2 050	0,000435	+ 0,0689
			+ 4 250	0,000498	+ 0,2236
			— 2 050	0,000432	+ 0,0614
			— 4 170	0,000496	+ 0,2187
25	20,2	0,000308	+ 2 160	0,0003105	+ 0,0042
			+ 4 575	0,0003138	+ 0,0162
			— 2 020	0,0003105	+ 0,0042
			— 4 520	0,0003140	+ 0,0169
33,3	22,4	0,000198	+ 3 000	0,0002016	+ 0,0161
			+ 4 560	0,0002025	+ 0,0207
50	19,8	0,000101	+ 2 575	0,0001043	+ 0,0327
			+ 4 575	0,0001065	+ 0,0544
			— 2 420	0,0001049	+ 0,0386
			— 4 520	0,0001078	+ 0,0673
66,6	21,8	0,0000303	+ 1 980	0,0000303	+ 0,000
			+ 4 500	0,0000318	+ 0,0495
75	21,8	0,0000124	+ 3 500	0,0000130	+ 0,0484
			+ 4 200	0,0000134	+ 0,0806
80	23,6	0,0000014	+ 4 575	0,0000022	+ 0,3636
83	22,7	0,0000216	+ 2 620	0,0000214	— 0,00952
			+ 4 370	0,0000214	— 0,00952
			— 3 390	0,0000213	— 0,0139
			— 4 525	0,0000210	— 0,0286

à un alliage compris entre 0,237 et 2 p. 100 d'étain. Enfin, un autre changement de signe correspond à 80 ou 83 p. 100 d'étain.

Les proportions auxquelles correspondent les changements de signe des variations du pouvoir thermo-électrique sont très proches de celles pour lesquelles se produisent les changements de signe de la force thermo-électrique.

G. G.

Sur les variations de l'effet Peltier dans un champ magnétique, par **A. Pochettino**. *Il Nuovo Cimento*, t. X, p. 284, octobre 1899.

Lord Kelvin a signalé l'influence de l'aimantation sur les propriétés thermo-électriques du fer et de l'acier [1].

Des expériences nombreuses et soignées ont été faites sur ce sujet par Houllevigue [2] qui a conclu que la force électromotrice d'un couple fer-cuivre est modifiée par un champ magnétique, croît d'abord jusqu'à un maximum et retourne à sa valeur primitive pour un champ de 350 volts, et, finalement, décroît.

Pochettino s'est proposé de rechercher l'in-

[1] *Philoso. Transac. L. R. S.*, p. 722, 1856.

[2] *Ann. de chim. et de phys.*, série 7, t. VII, p. 495, 1896.

fluence de l'aimantation sur la valeur de l'effet Peltier dans une soudure fer-cuivre et de voir jusqu'à quel point les résultats obtenus concordent avec ceux que l'on peut déduire des expériences de Houllevigue au moyen de la formule de Thomson qui relie le coefficient de l'effet Peltier à la valeur de la force thermo-électrique entre deux métaux.

La méthode employée pour la mesure du coefficient de l'effet Peltier, est celle imaginée par Stranco [1].

Les conclusions expérimentales sont les suivantes :

La valeur du coefficient de l'effet Peltier varie avec l'aimantation, croît d'abord jusqu'à une valeur maxima 0,008968 correspondant à un champ de 98 volts, puis décroît et repasse par sa valeur normale pour un champ de 345.

La formule déduite des expériences de Houllevigue avec la formule de Thomson ne représente bien le phénomène que jusqu'à un champ de 700.

La variation de la valeur du coefficient est indépendante de la direction d'aimantation.

G. G.

L'effet Hall et la résistance du bismuth à basse température, par **Evan Everdingen.** *Acad. royale d'Amsterdam*, 25 novembre 1899.

L'auteur a étudié l'effet Hall et les propriétés du bismuth à — 90°. L'abaissement de température a pour action d'augmenter l'effet Hall, jusqu'à le doubler, principalement dans les champs faibles.

La variation de la résistance du bismuth dans un champ magnétique dépend de l'angle des lignes de force avec les axes cristallographiques du métal. A 27°, l'augmentation de résistance est de 1,3 p. 100 dans la direction du champ et de 3,2 dans la direction perpendiculaire, pour un champ de 2650 unités. A — 90, les valeurs correspondantes sont 2,8 et 8,7. G. G.

Variation avec le temps de la viscosité magnétique dans les disques de fer, par **Lizzie R. Laird.** *Drude's Annalen*, t. I, p. 207-213.

La méthode de mesure a été décrite précédemment dans ce journal, à l'occasion d'un mémoire de Martens [2]. Elle consiste à mesurer l'action d'un disque sur un équipage astatique, placé de manière que cette action sur l'une des aiguilles de l'équipage soit négligeable, d'abord quand le disque est immobile, puis quand le disque tourne. Ces opérations donnent la valeur du rapport

$$\frac{J_0}{J_\infty} = \delta$$

de l'intensité initiale à l'intensité définitive de l'aimantation.

Ensuite, on compense l'action du disque par un petit aimant auxiliaire et on enregistre photographiquement le déplacement de la position d'équilibre avec le temps.

Le calcul se fait comme il suit : soit

$$\varphi = \Theta_0 + \Theta$$

Θ_0 étant une constante, Θ étant l'élongation évaluée d'une manière quelconque, au temps t ; X le couple directeur total agissant sur l'équipage, dans le méridien magnétique, F (t) le couple provenant de la viscosité et perpendiculaire au méridien, J le moment d'inertie du système, on a dans le premier cas pendant le temps où agit la viscosité :

$$\frac{d^2\Theta}{dt^2} + 2\beta\frac{d\Theta}{dt} + \frac{X}{J}\sin\Theta = f(t)\cos(\Theta)$$

ou comme Θ est petit :

$$\frac{d^2\Theta}{dt^2} + 2\beta\frac{d\Theta}{dt} + \frac{X}{J}\Theta = f(t)$$

et dans le second cas, quand la viscosité a cessé d'agir :

$$\frac{d^2\Theta}{dt^2} + 2\beta\frac{d\Theta}{dt} + \frac{X}{J}\Theta = f(\infty).$$

L'expérience donne d'une part 2B et $\frac{X}{J}$ d'après cette équation et d'autre part, on peut calculer ensuite $f(t)$ d'après la première.

D'ailleurs :

$$\frac{f(t)}{f(\infty)} = \frac{J_t - J_0}{J_\infty - J_0}$$

ou

$$\frac{J_t}{J_\infty} = \delta + (1 - \delta)\frac{f(t)}{f(\infty)}$$

et par conséquent, si $\varkappa_t$ et $\varkappa_\infty$ sont les susceptibilités qui correspondent à J_t et à J_∞

$$\frac{\varkappa_t}{\varkappa_\infty} = \frac{\frac{J_t}{J_\infty}}{\left(1 - \frac{J_t}{J_\infty}\right)N\varkappa_\infty + 1}$$

(1) *Rend. Lincei*, p. 197 et 346, 1er semestre 1898.

(2) *L'Éclairage Électrique*, t. XI, p. 410, 1897.

où N est le facteur de démagnétisation soit pour le disque :

$$\frac{\pi^2 \times \text{épaisseur}}{\text{diamètre}} = 0,136.$$

La susceptibilité $\varkappa_\infty$ se détermine par la méthode magnétométrique ordinaire.

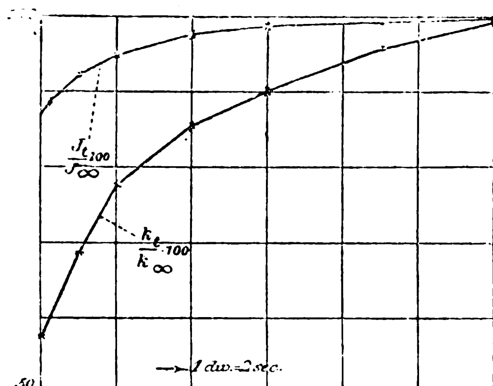


Fig. 1.

Les courbes de la fig. 1 représentent en fonction du temps : $\frac{J_t}{J_\infty} \times 100$ et $\frac{\varkappa_t}{\varkappa_\infty} \times 100$.

M. L.

Effet thermomagnétique transversal dans le bismuth, par **E. Yamaguchi**. *Dr. Ann.*, t. I, p. 214-224, janvier 1900.

Lorsqu'une lame de bismuth est parcourue par un flux calorifique et placée dans un champ magnétique dont les lignes de force sont perpendiculaires au plan de la lame, il se produit entre deux points situés sur une même normale aux lignes de flux calorifique une différence de potentiel (von Ettingshausen et Nernst). D'après Nernst, cette différence de potentiel q est égale à :

$$q = -\beta \frac{dt}{dz} \mathrm{H} Q_t.$$

β étant la distance des deux points, H l'intensité du champ, Q_t un facteur dépendant de la température : l'axe des z positifs est parallèle à la direction du courant calorifique.

Cependant Nernst avait remarqué que Q_t n'est pas absolument indépendant de H et van Everdingen trouva même des valeurs négatives de Q_t pour certaines températures dans un champ de faible intensité.

L'auteur s'est proposé d'étendre ses recherches jusqu'aux températures très basses obtenues par l'acide carbonique solide ou par l'air liquide.

Il mesure le champ magnétique d'après la variation de résistance qu'y éprouve une spirale de bismuth étalonnée. Pour déterminer les chutes de température, cinq éléments ferconstantan sont soudés à des distances à peu près égales sur la ligne médiane de la lame de bismuth. Enfin la différence de potentiel entre deux points de l'axe transversal de la lame est mesurée

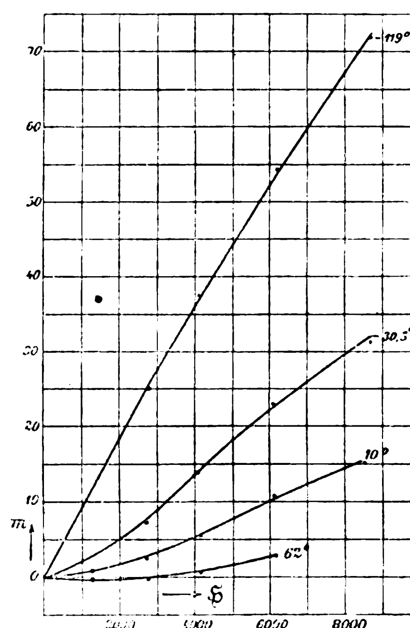


Fig. 1.

par la méthode de compensation. Même quand le champ est supprimé, il existe entre les deux points une petite force thermoélectrique dont il est tenu compte.

Les courbes des figures 1 et 2 représentent les résultats. Les abscisses sont proportionnelles aux intensités du champ et les ordonnées aux valeurs du produit $m = Q_t.\mathrm{H}$ exprimé en microvolts. La figure 1 est relative à l'ensemble des expériences d'Yamaguchi : la figure 2, aux expériences effectuées par lui à $+ 62°$ et par van Everdingen à 50° ; ces dernières donnent pour m des valeurs négatives : les conditions dans lesquelles se produisent ces anomalies paraissent dépendre des propriétés individuelles des lames.

Il paraît exister une relation étroite entre cet effet thermomagnétique transversal et l'accroissement de résistance du bismuth dans le champ magnétique : mais les données numériques dont on dispose actuellement ne permettent pas de préciser cette relation. M. L.

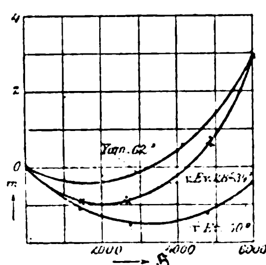


Fig. 2.

Electroaimant semi-circulaire, par **H. Du Bois**. *Drude's Ann.* t. I, p. 199-207.

Ce modèle d'électroaimant est destiné à fournir un champ intense avec une dépense d'énergie et un poids réduits, comparativement à l'électroaimant circulaire construit déjà par le même physicien.

La figure 1 représente au 1/10 des dimensions réelles une section verticale de cet électroaimant

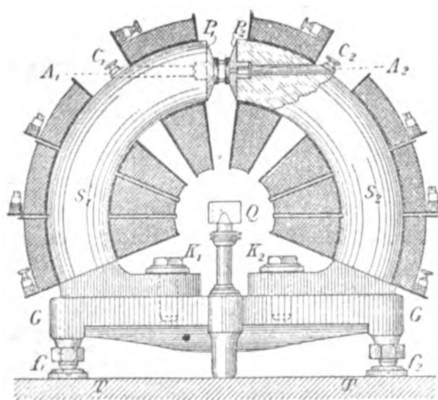


Fig. 1.

Les deux arcs de cercle S_1S_2 en fer fondu extra doux qui forment les amatures peuvent se déplacer sur le socle G_1G_2 parallèlement à l'axe A_1A_2. Cet axe se trouve à 42 cm environ au-dessus de la surface d'une table de laboratoire de hauteur ordinaire, ce qui permet de mettre aisément en relation avec l'aimant les divers appareils optiques. Sur le rail transversal ρ on peut disposer diverses glissières. Différents supports sont également installés sur le socle. Chaque armature avec ses quatre bobines pèse environ 60 kg; le socle pèse 40 kg.

L'enroulement est calculé en général pour une force électromotrice assez basse, au plus 72 volts. Les huit bobines occupent ensemble 180° de la circonférence et ont une résistance totale de 3,6 ohms lorsqu'elles sont en série, ce qui correspond avec la force électromotrice de 72 volts à une intensité ne dépassant pas 20 ampères. La force magnétomotrice est environ de 50 000 ampères-tours ou 62 800 C.G.S. la la dépense est d'environ 1 440 watts. Le coefficient de self-induction mesuré sur la portion de la courbe d'induction où la pente est maxima s'élève à 180 henrys et la durée de la période variable du courant est de 50″.

L'appareil est muni du jeu d'armatures de différentes formes d'usage ordinaire. Les armatures coniques, les plus employées, ont une demi-ouverture de 63°,5′.

La construction de cet électroaimant est basée sur les principes de la théorie d'Hopkinson pour les circuits magnétiques presque saturés.

D'après cette théorie, on calcule que le champ entre les deux armatures coniques atteint 36 000 unités : expérimentalement on trouve 35 800.

Un modèle plus petit, ne pesant que 25 kg et consommant 256 watts sous 32 volts, donne un champ de 20 000 C.G.S. M. L.

RAYONS CATHODIQUES

Vitesse de propagation et déviation magnétique des rayons cathodiques, par **E. Wiechert**, *Wied. Ann.*, t. LXIX, p. 739-797, décembre 1899.

La détermination de la vitesse de propagation des rayons cathodiques présente un grand intérêt, par suite des conclusions qu'on peut tirer de la connaissance de cette vitesse, relatives à la nature encore fort discutée de ces rayons.

Le principe de la méthode employée par Wiechert, est dû à Des Coudres : il consiste à faire agir sur le faisceau cathodique le champ magnétique produit par des oscillations électriques très rapides.

L'instant du départ des rayons et l'instant de leur arrivée, en un point déterminé, sont rap-

portés aux phases des oscillations ; on obtient de la sorte une mesure du temps employé par les rayons à décrire un trajet connu, c'est-à-dire leur vitesse de propagation.

Pour fixer le point de départ, Des Coudres emploie le même système à la production des oscillations électriques et du faisceau cathodique sur lequel elles doivent agir. Dans ces conditions, on peut prendre pour point de départ l'électrode elle-même et comme instant de départ, le commencement de l'oscillation qui amène à l'électrode l'électricité négative.

L'appareil se trouve simplifié, mais il est impossible d'obtenir un faisceau cathodique assez long pour effectuer des mesures un peu précises. Il est nécessaire en effet, que la durée de propagation soit suffisante pour que la phase des oscillations ait le temps de subir un changement appréciable, un quart de période par exemple. Si L est la longueur d'onde des oscillations électriques employées, V leur vitesse de propagation, v celle des rayons cathodiques, la longueur l du trajet observé devra satisfaire à la condition :

$$l \geq \frac{L}{4} \frac{v}{V}.$$

En se servant d'un transformateur de Tesla, on peut réduire aisément L à 60 m. environ : d'après des expériences préliminaires $\frac{v}{V}$ est voisin de $\frac{1}{10}$; il faudrait donc que dans ces conditions l fût égal au moins à 1,5 m. Cette longueur de rayon n'est pas difficile à obtenir quand on excite le tube au moyen des décharges d'une bobine d'induction ordinaire ; mais avec le transformateur de Tesla, l'intensité est très considérable et les oscillations très rapides ; il faut donc d'une part employer des pressions de gaz relativement élevées ce qui accroît l'absorption ; d'autre part, à quelque distance de la cathode, la marche des rayons devient irrégulière et la plupart se perdent. Sans doute la répartition régulière des forces électriques, nécessaire à la propagation rectiligne ou faiblement courbée des rayons, ne s'établit que peu à peu, à partir de la cathode et à mesure que les oscillations deviennent plus rapides, la région de propagation régulière s'éloigne de la cathode.

Pour éviter ces complications, Wiechert sépare complètement le système producteur des rayons cathodiques et le système producteur des oscillations à cela près qu'ils sont excités *par la même étincelle*.

Les oscillations ont une longueur d'onde comprise entre 6 et 20 m. Elles sont produites par un système de Lecher dont la capacité est grande et la self-induction faible, afin de pouvoir obtenir une grande intensité. Les oscillations agissent sur le faisceau cathodique par leur champ magnétique : ce qu'il est possible de réaliser sans augmenter leur amortissement comme il arrivait si on voulait faire agir le champ électrique.

La cathode est concave (fig. 1) : on règle les

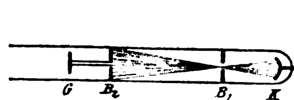


Fig. 1.

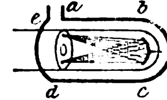


Fig. 2.

décharges jusqu'à ce que le faisceau ait la forme d'un cône étroit, avec une pointe assez fine. A l'endroit où se trouve cette pointe est disposé un diaphragme B, percé d'un trou étroit. En arrière de ce diaphragme s'en trouve un deuxième B, percé d'une fente et quelques centimètres plus loin une lame de verre G, en croix avec la fente. Sur cette lame, les rayons qui ont traversé les deux diaphragmes produisent une tache fluorescente verte.

Pour produire l'action magnétique et déterminer le point de départ des rayons, le fil qui relie les armatures antérieures des condensateurs de Lecher est replié autour de la région du tube où se trouve la cathode (fig. 2) : la partie *abcd* est dans un plan méridien du tube, supposé horizontal par exemple. Les oscillations produisent alors un champ magnétique alternatif dont les lignes de force sont verticales à l'endroit où elles traversent la section méridienne *abcd* du tube : le faisceau cathodique est par suite dévié horizontalement.

Quand on approche de plus en plus le fil du tube, on remarque que la pointe du cône paraît s'élargir dans le plan horizontal, puis le faisceau semble se diviser en deux (fig. 2). Ce n'est là qu'une illusion, provenant de ce que le faisceau, dans son mouvement pendulaire, passe avec sa vitesse maxima dans la région centrale,

tandis que dans les positions extrêmes, il reste quelque temps sans éprouver de déplacement sensible.

Ce phénomène indique que les rayons cathodiques sont émis seulement quand le système déviateur oscille fortement et que pendant cet intervalle de temps, l'intensité des oscillations ne subit pas de diminution appréciable.

Si l'émission des rayons dure plus longtemps, l'espace intermédiaire devient aussi lumineux et enfin si les rayons sont émis en grande partie quand le système déviateur a cessé d'agir, on aperçoit dans la région centrale du tube une tache fortement luminescente, correspondant à un faisceau dévié et sur les côtés les parties déviées du faisceau, plus faiblement accusées.

Comme les rayons non déviés ne sont d'aucune utilité pour les mesures et ne font que les troubler, il faut les éliminer.

A cet effet, on place au voisinage du tube, entre la cathode K et le diaphragme B, un petit aimant en fer à cheval M (fig. 3). Tant que

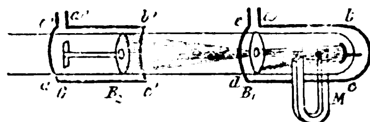


Fig. 3.

le système déviateur n'agit pas, la pointe du faisceau ne tombe plus dans l'ouverture de B_1, la luminescence s'éteint sur la lame de verre G. Si le système déviateur est en activité, on peut régler la position de M de manière à amener le faisceau à traverser l'ouverture B_1 et la fente B_2 et à venir illuminer G.

Pour déterminer l'instant d'arrivée des rayons en B_2, G, on dispose autour du tube dans cette région, un fil $a'b'c'd'$ identique à $abcd$ et relié de la même manière au système de Lecher. Si on admet que les oscillations se propagent de la même manière dans $abcd$ et dans $a'b'c'd'$, il est visible que l'action des deux circuits sur les rayons cathodiques sera la même, tant que la vitesse de propagation de ces rayons sera infiniment grande par rapport aux conditions de l'expérience. Dans le cas représenté par la figure 3, la tache luminescente se déplacerait alors, sous l'action de $a'b'c'd'$ du côté de $a'b'$. S'il n'en est pas ainsi, c'est que la vitesse de propagation se trouve dans les limites accessibles à l'expérience.

En déplaçant le système B_2, G, a', b', c', d' on trouve une position pour laquelle la tache luminescente se trouve élargie symétriquement des deux côtés et le phénomène ne change pas d'aspect, quand on change le sens de l'aimant M. Dans ces conditions, les rayons cathodiques parcourent l'espace entre $abcd$ et $a'b'c'd'$ dans le temps où le système déviateur effectue le quart d'une oscillation complète.

Si on éloigne le groupe B_2, G, a', b', c', d' de cette position neutre, d'un côté ou de l'autre, la déviation de la tache lumineuse devient prépondérante d'un côté ou de l'autre. En poussant le groupe de plus en plus au delà du point neutre, on trouve une position pour laquelle la déviation se fait entièrement du même côté, mais du côté opposé à celui où la produit $abcd$. Le retournement de l'aimant M. provoque alors, de nouveau, le changement de sens de la déviation. Les rayons cathodiques ont alors parcouru l'intervalle d'entre les deux circuits pendant la durée d'une demi-oscillation du système déviateur.

Pour augmenter la portée de l'expérience, on dispose autour du tube une spirale de fil, dans laquelle on fait passer un courant intense. Ce courant crée, dans l'intérieur du tube, un champ magnétique dont la direction est parallèle à celle de l'axe : ce champ magnétique force les rayons cathodiques peu inclinés sur l'axe à décrire autour de celui-ci des spirales à long pas : et à passer par l'ouverture de B_1, alors que la plupart d'entre eux seraient allés frapper les parois : leur chemin est à la vérité quelque peu allongé : mais cette variation n'a aucune importance, eu égard au degré de précision de ces expériences.

Grâce à cet artifice, Wiechert a pu observer le second point neutre, à environ 1 m de la cathode, et même aller un peu au delà.

L'ensemble du dispositif, servant avec les courants de Tesla est représenté schématiquement par la figure 4.

Dans les mesures définitives, le tube était disposé comme on le voit sur la figure 5.

L'ouverture O du diaphragme B_1 se trouve dans le plan de la section la plus étroite du faisceau : le diaphragme a reçu la forme d'un entonnoir pour permettre de placer l'anode A ; au moyen d'un petit électro-aimant qu'on fait agir sur le barreau de fer E, on règle à volonté

la position du système B_2 B', B''_2 dans son ensemble : en outre on peut déplacer B_2 par rap-

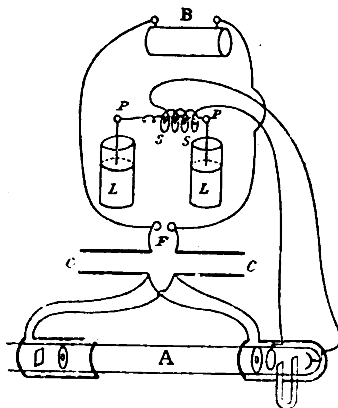


Fig. 4.

B, bobine d'induction ; L, L, bouteilles de Leyde ; PP, primaire du transformateur de Tesla ; SS, secondaire du transformateur ; F, exploseur ; C, C, condensateurs du système de Lecher ; A, tubes à décharges.

port aux deux autres pièces, sans le faire tourner sur lui-même.

Le tube renferme de l'hydrogène : il reste constamment relié à la pompe à mercure : la pression varie entre 1/10 et 1/2 mm.

Le système de Lecher est formé par deux condensateurs à lame d'air (C, C, fig. 6), constitué chacun par trois plaques parallèles en cuivre : la plaque du milieu forme l'une des armatures : les deux autres réunies par des bandes de laiton α, *f*, représentent l'autre armature. L'ensemble est supporté par un cadre formé de tubes de verre et de bois paraffiné au moyen des tiges d'ébonite *h* et des bandes α, β. L'étincelle éclate en F, entre deux boules fixées aux lames *f* : ces lames sont fendues et maintenues par une vis de pression passant dans la fente : ce dispositif permet de faire varier dans certaines limites la longueur de l'étincelle. Aux plaques intérieures sont soudées des bandes de cuivre γ, γ′, qui sont conduites parallèlement deux à deux jusqu'aux circuits *abcde*, *a′b′c′d′e′*.

Pour déterminer la vitesse de propagation des rayons cathodiques à l'aide des résultats immédiats de l'expérience, il faut connaître

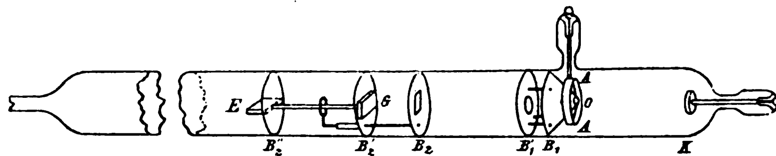


Fig. 5.

K, cathode ; A, A, anode annulaire, dont le plan passe par l'ouverture O du diaphragme B_1 ; B'_1 anneau fixé à B_1 et destiné à maintenir ce dernier dans une position bien définie ; B_2, B'_2, B''_2, disques de cuivre ; B_2, portant en son centre une ouverture rectangulaire de 4 × 7 mm. ; B'_2, porte une bande de verre G en travers de cette fente ; B''_2 un petit barreau de fer E ; B'_2 et B''_2 sont réunis par un fil de cuivre, à B_2 est soudé un autre fil de cuivre qui passe à frottement doux dans un petit tube soudé à B'_2 et s'enroule ensuite autour du fil qui réunit B'_2 à B''_2.

encore le rapport α de la masse matérielle des particules en mouvement à leur charge électrique. Ce rapport est donné par la relation :

$$\alpha = \frac{r\mathrm{H}}{v\mathrm{V}}$$

r étant le rayon de courbure que prend le rayon dévié par le champ magnétique H. On le détermine au moyen d'une expérience spéciale, en disposant le long du tube de part et d'autre de son axe, des conducteurs rectilignes parallèles entre eux, dans lesquels on fait passer un courant d'intensité connue.

Les résultats des observations sont favorables à la théorie de l'émission. En particulier, on constate que le premier point d'inversion s'éloigne de la cathode à mesure que la « *raideur* » magnétique *r*H augmente.

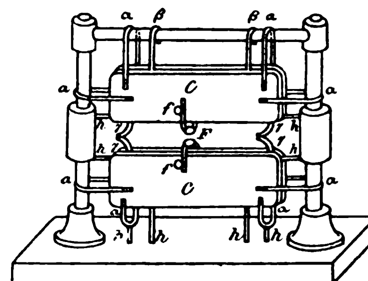


Fig. 6.

La vitesse des rayons cathodiques est notablement inférieure à celle des rayons lumi-

neux : les valeurs probables du rapport $\frac{v}{V}$ sont comprises entre 0,132 et 0,168, elles croissent avec la valeur du produit r H.

L'auteur conclut de ses recherches que « la charge électrique d'une particule matérielle consiste dans une liaison électrodynamique avec l'éther, liaison qui est en rapport intime avec la nature propre de la particule et ne change jamais. L'électricité est ramenée ainsi à une propriété de la matière elle-même. »

M. L.

Sur les rayons cathodiques et sur les rayons anodiques, par **A. Battelli** et **L. Magri**. *Il Nuovo Cimento*, t. X, p. 264, octobre 1899.

M. Battelli a déjà décrit quelques phénomènes observés avec les décharges unipolaires [1], d'où l'on peut conclure que des électrodes d'un tube à vide peuvent partir des rayons de nature un peu différente, suivant que les électrodes sont à potentiel plus élevé ou moins élevé que le reste du tube ; il peut donc y avoir des rayons anodiques et des rayons cathodiques.

Les expériences exécutées depuis par MM. Battelli et Magri donnent une idée plus exacte du phénomène.

Une électrode d'un tube à vide communique avec un pôle d'une machine de Holtz, le reste est isolé. La pression dans le tube (moindre que un demi-millimètre de mercure) est assez faible pour que, en face de l'électrode reliée à la machine, on observe la tache fluorescente et l'auréole azurée.

Un aimant sépare l'effluve en deux parties, dont une, celle qui provoque la fluorescence sur le verre est déviée comme les rayons cathodiques dans les tubes habituels, et l'autre qui a l'aspect d'une auréole blanc azurée se ramasse en un faisceau étroit dévié un peu avant l'aimant en sens inverse.

Pour étudier les actions chimiques, les auteurs emploient un tube (fig. 1) muni d'un disque de cuivre D entouré par deux petits bras de verre o. L'électrode E est reliée à la machine électrique ; pour une raréfaction peu poussée, on observe une action oxydante assez forte, l'ombre des obstacles o de verre paraît moins oxydée que le reste du disque, les contours ne sont pas nets, l'ombre ne s'observe que pour de faibles distances entre D et o.

Pour une raréfaction plus forte, l'ombre devient plus nette et l'action oxydante diminue. Enfin à raréfaction élevée, le tube a, à peu de chose près, l'aspect qu'il aurait s'il était excité bipolairement et que le disque E fut cathode. L'oxydation est très faible, surtout en dehors de l'ombre sur le disque.

Il existe donc deux espèces de rayons dans ces effluves unipolaires. Les rayons cathodiques se comportent comme des particules chargées négativement partant de l'électrode ; leur aspect est semblable à celui des rayons cathodiques dans les tubes ordinaires, ils produisent la fluorescence du verre et ont une action réductrice puisqu'à raréfaction avancée l'ombre d'un obstacle placé en face du disque D (fig. 1) est plus oxydée que le reste du disque. Les rayons anodiques ont l'apparence d'une luminosité bleuâtre qui

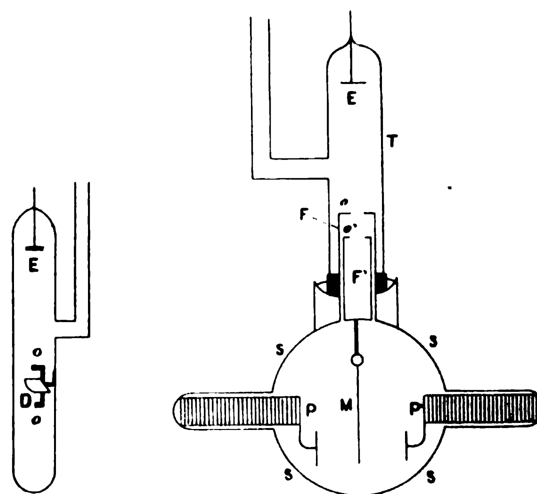


Fig. 1 et 2.

envahit une grande partie du tube, ils ont une action oxydante et se comportent comme des particules chargées positivement.

Ce résultat est confirmé par d'autres expériences analogues à celles de Perrui où en face de l'électrode E est placé un cylindre de laiton F fermé à la partie opposée à E par un disque muni d'un trou (fig. 2). A l'intérieur est placé un deuxième cylindre F' qui supporte la feuille d'or M mobile entre les pôles d'une pile Zam-

(1) *Il Nuovo Cimento*, t. VII, p. 81. *L'Écl. Élect.*, t. XVIII, p. 320.

boni PP'. La feuille indique une charge indifféremment positive ou négative. Si l'orifice *o* est fermé par une feuille d'aluminium, on observe toujours une charge négative à haute raréfaction, sinon on n'observe aucune charge.

L'action sur la feuille d'or cesse quand on devie les rayons par un électro-aimant.

Par conséquent, dans le tube se produisent les deux espèces de rayons. Les rayons anodiques portent une charge positive, et les rayons cathodiques une charge négative; les rayons cathodiques peuvent seuls traverser la feuille mince d'aluminium.

Dans une ampoule munie d'une croix, avec électrode opposée reliée au pôle d'une machine statique, on observe une ombre nette, qui se resserre si l'on approche de la croix le pôle positif d'une autre machine électrique; les rayons qui produisent la fluorescence sont attirés. Si on approche le pôle négatif, l'ombre s'éloigne, les rayons sont repoussés.

Si l'on emploie la même machine statique, l'ombre est repoussée ou attirée suivant que le conducteur électrisé que l'on approche est relié au même pôle que le tube ou au pôle opposé. Dans ce cas, les variations de potentiel ont même phase.

On peut conclure de ces expériences à l'existence des deux espèces de rayons. G. Goisot.

RAYONS RŒNTGEN

Diffraction des rayons de Rœntgen, par **Haga** et **C.-H. Wind**. *Wied. Ann.*, t. LXVIII, p. 884-895, août 1899.

Les auteurs ont reproduit les expériences décrites par Fomm et attribuées par ce dernier à une diffraction des rayons de Rœntgen.

En faisant passer ces rayons à travers deux fentes, on obtient sur la plaque photographique deux bandes intérieures à l'image géométrique; ces bandes sont parallèles aux bords des fentes. Si la fente diffringente est en forme de coin, ces bandes se coupent et se continuent après leur intersection. Un phénomène tout à faif identique peut être réalisé avec la lumière, mais dans l'un et l'autre cas, il s'agit d'une illusion optique.

Des expériences préliminaires ont amené les auteurs à penser que la longueur d'onde des rayons de Rœntgen employés par eux était voisine de 0,2 μμ. Ils ont en conséquence installé leurs appareils de façon à réaliser les conditions les plus favorables à la production de rayons diffractés. Ils ont constaté alors en employant des fentes diffringentes en forme de triangle, que l'image de la fente était toujours élargie à partir d'un certain point; de ce point vers la pointe du triangle, l'image n'a pas une largeur uniforme, mais elle est alternativement plus large et plus étroite, quoique la largeur de la fente aille constamment en diminuant.

Ces variations de largeur ne peuvent s'expliquer par les causes qu'on invoquerait d'abord; irradiation photographique, sensibilité inégale de la plaque dans ses différentes régions, action des rayons secondaires. Il faut donc les attribuer à une diffraction des rayons de Rœntgen. Les différents élargissements observés sur une même image, se rapporteraient à des rayons de longueur d'onde différente.

Pour caractériser les conditions expérimentales, Haga et Wind définissent, à l'exemple de ce que fait Fresnel dans sa théorie de la diffraction, une variable v_s, par la relation :

$$v_s = s\sqrt{\frac{2(a+b)}{ab\lambda}}.$$

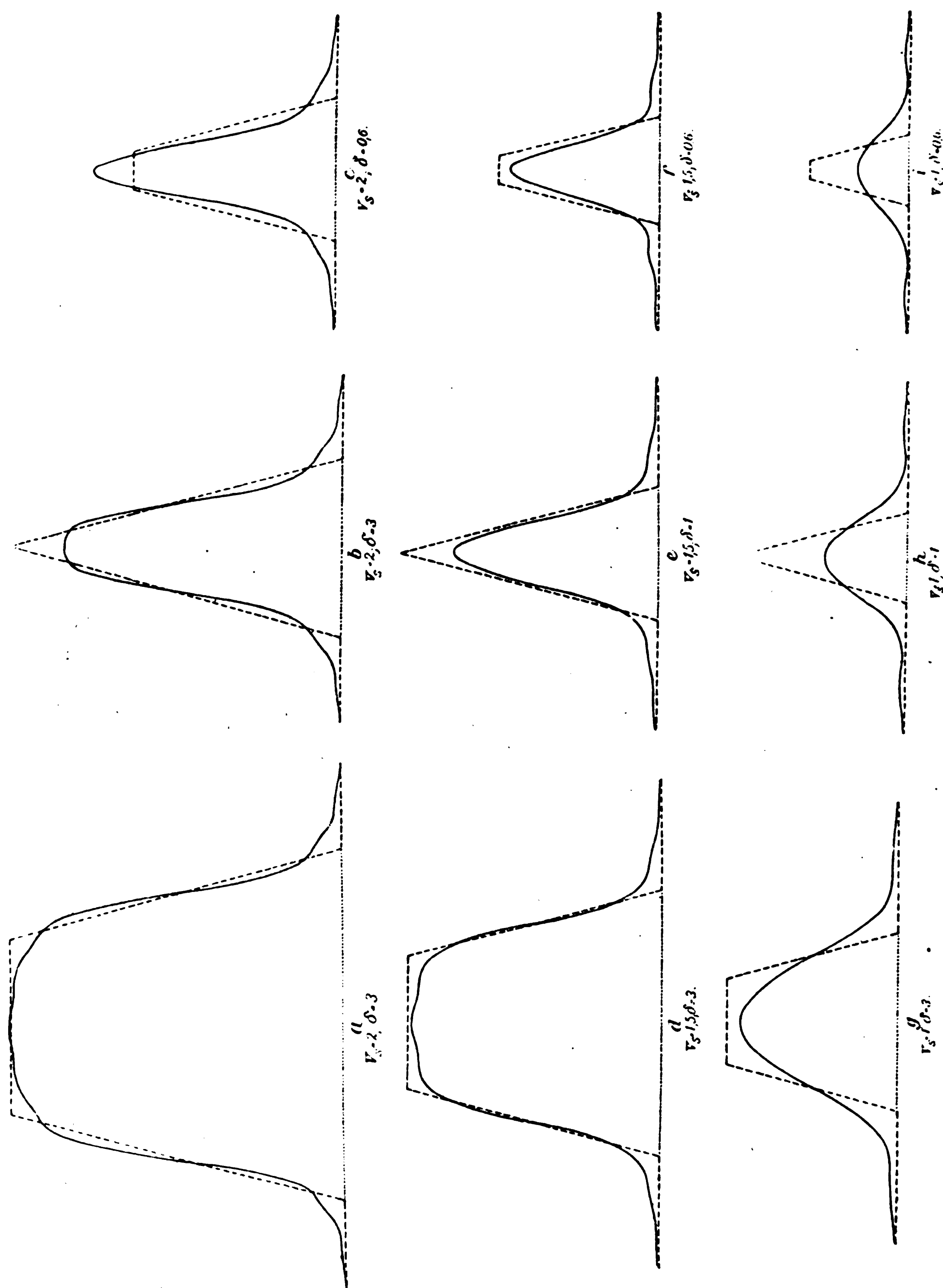
Il faut tenir compte aussi de la largeur de la première fente. Ils ont effectué le calcul pour trois valeurs différentes 3,1 et 0,6 du rapport :

$$\delta = \left(\frac{a}{b}\sigma\right):\left(\frac{a+b}{a}s\right)$$

Pour $\delta = 3$, la largeur de la première fente est grande vis-à-vis de la largeur de la seconde : c'est l'inverse pour $\delta = 0{,}6$.

On obtient ainsi, pour représenter la variation de l'intensité, les courbes (p. 264) tracées en trait plein : les courbes en traits interrompus représentent la variation de l'intensité en admettant qu'il n'y ait pas diffraction. On voit, d'après ces figures, que l'élargissement des figures se produira déjà pour des valeurs notables de v_s, à la condition que la limite de l'intensité perceptible soit très faible vis-à-vis de l'intensité maxima. C'est la valeur $v_s = 1{,}3$ qui paraît le mieux convenir aux expériences effectuées : la longueur d'onde λ se calculera par la formule :

$$\lambda = \frac{1}{1{,}3^2}\,\frac{2(a+b)}{ab}\,s_1^2$$



s_1 étant la largeur de la fente à l'endroit où on observe l'élargissement. Les valeurs de λ ainsi trouvées sont comprises entre 0,15 et 0,02 μμ.

Sur la signification des apparences de diffraction observées avec les rayons de Rœntgen, par **C.-H. Wind**, *Wied. Ann.*, t. LXVIII, p. 895-901, août 1899.

Wind fait remarquer que les phénomènes décrits dans le mémoire précédent pourraient être produits encore par d'autres rayons que ces rayons de faible longueur d'onde, notamment :

1° Par des vibrations de période quelconque, si ces vibrations éprouvaient des variations de phase tout à fait irrégulières, séparées par des intervalles de temps dont la durée moyenne serait celle des périodes indiquées.

2° Par n'importe quel phénomène irrégulier dans la source, si la fonction $f(t)$ qui définit le rayonnement en chaque point de la source peut être développée en série de Fourier. Il suffit que le développement puisse s'étendre à un intervalle de temps assez grand o à 2 T, pour lequel les coefficients sont d'un même ordre de grandeur dans la région s'étendant des grandes longueurs d'onde aux λ aux longueurs d'onde λ_x calculées précédemment et diminuent beaucoup en dehors de cette région.

La première hypothèse n'est, du reste, qu'un cas particulier de la seconde.

Comme Gouy l'a montré, le rayonnement dans son ensemble, même en ce qui concerne l'énergie, peut être regardé comme la superposition des rayonnements correspondant aux termes de la série de Fourier, si on considère seulement l'énergie moyenne ou totale rayonnée pendant le temps 2 T.

La courbe qui représente l'énergie en prenant pour abscisses les valeurs de n, aura pour équation :

$$I = A_n^2 + B_n^2.$$

Cette courbe peut présenter quelque part, pour une valeur n_x de n correspondant à λ_x, un maximum très surbaissé si l'on veut et en dehors de cette région s'approcher beaucoup de l'axe des abscisses. Il est intéressant de construire cette courbe en fonction de $\sqrt{\lambda}$, ce qui se fait par la transformation :

$$I dn = -i d\sqrt{\lambda}$$

ou, en introduisant la vitesse de propagation v.

$$i = \frac{2v}{\lambda^{3/2}} I.$$

La valeur de $\sqrt{\lambda}$, qui répond au maximum de i sera celle qui annule $\frac{di}{d\sqrt{\lambda}}$, soit pour :

$$\frac{dI}{dn} = -\frac{3I}{dn},$$

valeur qui ne se confond pas avec celle qui donne le maximum de I, mais est plus grande, voire même beaucoup plus grande. La longueur d'onde λ qui donne le maximum de i est donc plus petite que la longueur d'onde λ qui donne le maximum de I, d'autant plus petite que la courbe des I est plus surbaissée.

Si on se reporte aux expériences de Haga et Wind dont il est question ci-dessus, il est aisé de voir que, pour une même valeur de v_1, les largeurs s_1 et s_2 de la fente qui correspondent à l'élargissement de l'image sont proportionnelles aux racines carrées des longueurs d'onde :

$$s_1 : s_2 = \sqrt{\lambda_2}; \quad \sqrt{\lambda_2}.$$

Si le rayonnement n'est pas homogène, l'image de la fente sera la superposition des images qui répondent à chacune des longueurs d'onde : pour chacune des longueurs d'onde se produira un élargissement en un point déterminé : ce point est d'autant plus près du sommet de la fente que le λ est plus grand. Si la courbe des i est à peu près parallèle à l'axe des λ^2, on n'observera qu'un élargissement général de l'image de la fente. Mais si la courbe des i présente un maximum assez prononcé, on observera un élargissement notable de l'image au point pour lequel la valeur s correspond au λ^2 défini par le maximum. L'élargissement s'observera encore au voisinage de ce point, si le maximum de la courbe des i est moins prononcé.

On observe souvent plusieurs maxima dans une même image de diffraction, ce qui est difficilement compatible avec la théorie précédente. Ces maxima sont plutôt des positions différentes d'un même maximum, provenant de ce que les conditions expérimentales ont quelque peu changé pendant la durée de l'expérience.

Sur la propriété de décharge de l'air rœntgenisé, par **A. Campetti**. *Rendiconti dell Accad dei Lincei*, t. VI, 2e série.

Le professeur Villari est arrivé aux conclusions suivantes : L'air rœntgenisé, en passant

sur un conducteur électrisé, perd la propriété de dissiper ensuite une charge de même signe et conserve celle de dissiper une charge de signe contraire ; en passant sur deux conducteurs de signe différent, il perd toute propriété de décharge [1]. L'auteur suppose que les gaz se dissocient plus ou moins et que des particules résultantes prennent des charges + et —.

Or, la propriété de décharge peut s'acquérir de plusieurs manières, en particulier en se chargeant de produits de combustion, ou sous l'action des étincelles.

Pour voir si la modification dans ces différents cas peut être supposée la même, le Dr Campetti a fait quelques expériences de comparaison.

Les expériences relatives aux produits de la combustion ont été faites de la façon suivante : Un gros tube de verre de 40 cm de longueur et 10 cm de diamètre, disposé verticalement, enveloppe la flamme obscure d'un Bunsen ; on obtient ainsi un fort courant d'air qui vient frapper un réseau métallique et une boule métallique suspendue au-dessus du tube.

Pour étudier l'action des rayons X, on enferme un tube focus dans une boîte de plomb. Une ouverture de 10 cm de diamètre est pratiquée dans la paroi en face de la superficie active du tube. Dans cette ouverture est adapté un tambour métallique, dont la paroi tournée vers le tube est formée par une lame d'aluminium de 0,33 mm d'épaisseur. L'air est poussé dans ce tambour au moyen d'un soufflet, il y subit l'action des rayons X et passe ensuite dans un tube de verre vertical à la sortie duquel il vient frapper le réseau et la boule.

Nous désignerons indifféremment par air *modifié*, l'air qui a subi l'action des rayons X ou qui est chargé des produits de la combustion, car les résultats obtenus dans les deux cas sont identiques.

1° Le réseau *r* est en communication (fig. 1) avec le pôle + d'une pile sèche de Zamboni de 1 000 éléments, dont l'autre pôle est à la terre ; la boule P est reliée à un électroscope à feuille d'or E et chargée positivement au même potentiel que *r*, l'air modifié décharge seulement en partie la boule. Même résultat si on change les signes.

2° Si on emploie à la suite l'un de l'autre deux réseaux en communication l'un avec le pôle + et l'autre avec le pôle —, l'air modifié décharge la boule plus lentement après ce passage que lorsqu'il provient directement du tube.

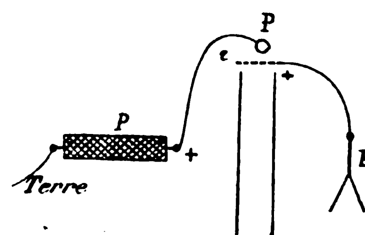


Fig. 1.

3° Si la boule n'est pas chargée, l'air lui communique une charge de signe contraire à celle du réseau.

4° Même résultat si on interpose un réseau isolé entre la boule non chargée et le réseau chargé ; mais il ne se produit plus si le réseau auxiliaire est au sol.

5° L'air modifié, en traversant un seul réseau mis au sol, conserve sa propriété de décharge.

6° La boule est en communication avec le pôle + de la pile (fig. 2) dont l'autre pôle est au sol.

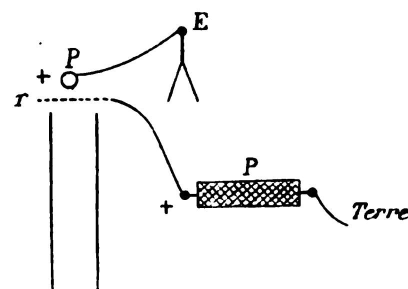


Fig. 2.

Le réseau chargé positivement au même potentiel est relié à l'électroscope. L'air modifié décharge partiellement le réseau. Même résultat en changeant les signes.

7° La boule étant +, si le réseau est déchargé, l'air modifié le charge positivement ; si on décharge le réseau en le mettant momentanément au sol, l'air le charge à nouveau et ainsi de suite.

Les expériences 1, 2, 3 et 4 s'expliquent fort

(1) *Rendiconti dei Lincei*, mars 1897.

bien par une dissociation, mais les résultats de 5, 6 et 7 sont la conséquence de l'hypothèse de la conductibilité.

Le fait que l'air modifié, en traversant deux réseaux chargés de signe contraire, perd au moins en partie sa propriété, a été déjà indiqué par Giese pour les produits de la combustion, la conductibilité est diminuée.

L'auteur conclut de ces expériences que les propriétés de décharge de l'air modifié dépendent en grande partie d'une augmentation de la conductibilité électrique.

G. G.

Si les rayons Rœntgen favorisent le refroidissement d'un corps, par **A. Amerio.** *Il Nuovo Cimento*, t. X, p. 366, novembre 1899.

M. Pettinelli a trouvé que la vitesse de refroidissement d'un corps dans l'air est accrue par l'action des rayons X, la variation serait de $\frac{1}{60}$ environ [1]; ce résultat est bien supérieur à celui des autres expérimentateurs, et en diffère dans certains cas par le sens [2].

M. Amerio a repris la question avec différentes méthodes d'une sensibilité plus grande que celle employée par M. Pettinelli et il a obtenu un résultat négatif. Il en conclut que si les rayons X influent, comme cela paraît probable, sur le refroidissement d'un corps dans l'air, ils le font à un degré bien inférieur à celui trouvé dans les précédentes expériences.

L'auteur a en particulier étudié, à l'aide du galvanomètre, le refroidissement d'une soudure thermo-électrique fer-constantan, il n'a pu observer aucune perturbation produite sur ce refroidissement par l'action des rayons X; la sensibilité de la méthode aurait permis d'observer une variation de $\frac{1}{1500}$ alors que M. Pettinelli avait constaté un accroissement de $\frac{1}{60}$.

G. Goisot.

(1) *Il Nuovo Cimento*, t. VIII, p. 299. *L'Éclair. Élect.*, t. XXI, p. 399.

(2) Lenard, *Ann. der Phys. und Chem.*, t. XVIII, p. 253. Villari, *Nuovo Cimento*, t. IX, p. 77. Dorn, *Ann. der Phys.*, t. XVIII, p. 160.

Action d'une température élevée sur quelques corps relativement aux rayons X, par **A. Volta.** *Il Nuovo Cimento*, t. X, p. 431, décembre 1899.

L'auteur confirme ses précédents résultats [1] mis en doute par quelques savants à cause de l'influence de la température sur la sensibilité d'une plaque photographique. Il a plus particulièrement étudié cette action et a observé que par l'action directe des rayons X une plaque est plus fortement impressionnée à 50° qu'à la température ordinaire ; à température plus basse l'action est la même. Au contraire pour les radiations secondaires, la différence est nulle jusqu'à 60°, peut-être à cause de la moindre pénétrabilité des rayons secondaires.

Volta déduit de ses expériences que l'échauffement de la plaque, tout en modifiant la sensibilité spécialement pour les rayons transmis, ne peut altérer les résultats quand on prend les précautions convenables.

L'influence de la température sur les propriétés cryptoscopiques des substances mérite cependant une étude plus complète. G. Groisot.

RECHERCHES DIVERSES

Conductibilité électrique de l'acide azotique, par **V.-H. Veley** et **J.-J. Manley**. *Proceedings of the Royal Society of London*, t. LXII, p. 223. Résumé dans le *Journal de Physique*, 3e série, t. IX ; mars 1900, p. 173.

Les auteurs ont mesuré la conductibilité électrique et les autres propriétés physiques de l'acide azotique soigneusement purifié et sous différents états de concentration. L'acide pur à 99,97 p. 100 n'agit pas sur le cuivre, l'argent, le cadmium, le mercure et le magnésium commercial très purs à la température ordinaire. Il n'a pas non plus d'action sur le fer pur et le zinc granulé commercial même à l'ébullition. Par contre, le zinc pur est faiblement attaqué, et le sodium prend feu immédiatement. L'acide azotique n'agit pas sur le carbonate de calcium à l'ébullition, mais il dissout rapidement la fleur de soufre et la pyrite de fer sous l'influence d'une douce chaleur.

La densité de l'acide à 99,97 p. 100 par rap-

(1) *Il Nuovo Cimento*, t. VIII, p. 241, 1898. *L'Écl. Élect.*, t. XXI, p. 319, 1899.

port à l'eau à 4° après correction du vide est :

à 4° 1,54212
à 14°2 1,52234
à 24°2 1,50394

La résistance spécifique de l'acide azotique dont la concentration varie de 1,30 à 30 p. 100 diminue d'abord rapidement, puis lentement, après quoi elle monte lentement jusqu'à une concentration de 76 p. 100, puis plus vite jusqu'à une concentration de 96,12 p. 100 où elle présente un maximum.

Entre les concentrations de 1,3 à 96,12, la conductibilité électrique de l'acide azotique a un coefficient de température positif. De 96,12 à 99,97 p. 100 le coefficient de température est négatif.

La présence de points de discontinuité et de certains maxima et minima dans le coefficient de température permet de conclure à l'existence de certains hydrates.

Pouvoir inducteur de l'eau oxygénée, par **H.-T. Calvert**. *Dr. Ann.*, t. I, p. 483-486, mars 1900.

L'eau oxygénée à 4 p. 100 a une conductibilité spécifique égale à 2,89, 10^{-8}.

Le pouvoir inducteur a été mesuré par la méthode de Drude : il est égal à 84,7 pour les ondes de 75 cm., la concentration étant de 46 p. 100.

En calculant, par la règle des mélanges, ce que serait le pouvoir inducteur de l'eau oxygénée pure, on trouve 92,8, c'est-à-dire un nombre supérieur au pouvoir inducteur de l'eau pure. D'autre part, l'absorption électrique est sensiblement nulle et, en tout cas, normale. Cette circonstance et la grandeur du pouvoir inducteur sont d'accord avec l'hypothèse de Brühl sur la constitution de l'eau oxygénée, d'après laquelle ce composé ne renferme pas d'oxhydrile.

M. L.

Force électromotrice des éléments Clark et Weston, par **W. Marek**. *Dr. Ann.*, t. I, p. 617-621, mars 1900.

L'auteur donne une table des valeurs de la force électromotrice de ces deux éléments.

De dixième de degré en dixième de degré, entre 0° et 30° pour le Latimer Clark, d'après la formule de la Reichsanstalt.

$$E_t = 1,4328 - 11,9(t - 15)\,10^{-4} - 0,07(t - 15)^2\,10^{-4}.$$

De degré en degré pour le Weston.

$$E_t = 1,0186 - 38,0(t - 15)\,10^{-6} - 0,65(t - 15)^2\,10^{-6}$$

M. L.

Mélange de trois poudres pour les figures de Lichtenberg, par **K. Bürker**. *Dr. Ann.*, t. I, p. 474-482, mars 1900.

L'auteur indique comme donnant des figures beaucoup mieux différenciées que le mélange ordinaire de soufre et de minium, le mélange de : une partie de carmin, trois parties de lycopode, cinq parties de fleur de soufre (en volume).

Il est bon de broyer ensemble d'abord le carmin avec le soufre et d'ajouter ensuite le lycopode. Si la poudre est convenablement préparée, un bâton de verre positif doit attirer seulement le carmin, un bâton de résine négatif seulement le lycopode et le soufre. M. L.

Interrupteur électrolytique pour les courants de faible intensité, par **A. von Rzewnski**. *Dr. Ann.*, t. I, p. 614-617, mars 1900.

On arrive à obtenir l'interruption avec une force électromotrice relativement faible (24 volts) lançant contre l'électrode active un courant d'acide sulfurique étendu. M. L.

Sur les rotations dans le champ électrique observées par Quincke, par **L. Grœtz**. *Dr. Ann.*, t. I, p. 530-542, mars 1900.

Les phénomènes observés par Quincke (1) sont compliqués par la présence du fil de suspension ; par suite de la tension du fil, on ne peut obtenir que des mouvements oscillatoires. En disposant les boules sur une pointe, Grœtz réalise un mouvement continu, ce qui simplifie l'étude tant théorique qu'expérimentale de ces mouvements. Dans ces conditions, la boule prend bientôt une vitesse constante, au moins quand la pointe est bien travaillée et que le frottement n'éprouve que de faibles variations. On peut alors camparer les valeurs que donnent l'expérience et le calcul de Schweidler pour le moment du couple auquel est soumis la boule.

Les observations effectuées sur une sphère de soufre dans l'éther et la benzine, et sur une sphère d'ébonite dans l'éther vérifient en gros la théorie de Schweidler, autant que permet d'en juger la variation de la conductibilité de ces liquides.

L'étude de ces rotations dans l'air traversé par les rayons de Rœntgen atteste aussi un accroissement de la conductibilité. D'autres expériences effectuées avec les rayons ultraviolets et avec des substances radioactives n'ont donné que des résultats incertains. M. L.

Rotations électrostatiques produites au moyen de différences de potentiel alternatives, par **R. Arno**. *Rendiconti dei Lincei*, t. VIII, p. 167, 17 septembre 1899; *L'Elettricista*, t. VIII, p. 217, octobre 1899.

« Le phénomène, mis en évidence par moi, de la rotation d'un cylindre diélectrique dans un champ électrique tournant et les résultats de mes recherches sur la dissipation de l'énergie, qui se produit dans le diélectrique soumis à l'action d'un tel champ, démontrent l'existence d'un retard avec lequel la polarisation du diélectrique suit la rotation du champ [1].

» Lorsqu'on cherche à faire ces expériences, les difficultés qui se présentent dans la construction des cylindres diélectriques, spécialement pour certains corps tels que le mica, m'ont conduit à penser que l'on pourrait obtenir des effets semblables à ceux produits dans mes expériences antérieures en employant au lieu de cylindres de simples disques de matière diélectrique.

» La présente note a pour objet l'exposé d'une nouvelle expérience que j'ai eu l'occasion d'imaginer et d'exécuter dans le but de résoudre cette question.

» Soit M un disque métallique, subdivisé en trois secteurs *a b c* (fig. 1), et soit D un disque de matière diélectrique, capable de tourner autour de son centre C situé sur l'axe de l'appareil et à petite distance du centre O du disque métallique M.

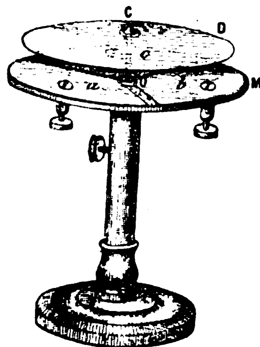


Fig. 1.

» Si les trois secteurs *a b c* sont respectivement mis en communication avec les trois conducteurs d'un système triphasé, le disque D se met à tourner dans un sens déterminé autour de son axe, si toutefois la différence de potentiel entre deux quelconques des trois conducteurs est égale ou supérieure à une valeur déterminée, dépendant des distances entre les secteurs *a b c* et de la distance OC entre les centres des deux disques M et D. Si, pendant que le disque tourne dans un sens déterminé, on intervertit les communications de deux quelconques des secteurs *a b c* avec les deux conducteurs correspondants, la rotation s'éteint rapidement, puis se renverse.

» L'expérience a été exécutée avec un disque de papier paraffiné de 1 mm d'épaisseur et de 82 mm de diamètre, tandis que le diamètre du disque M était de 120 mm, la distance des trois secteurs l'un de l'autre de 11 mm, et la distance OC entre le centre des deux disques de 9 mm.

» Dans ces conditions, et avec une différence de potentiel efficace entre les conducteurs de 3 000 volts, le nombre de tours par seconde faits par le disque était tel qu'il était impossible d'en faire le compte. »

Electroscope dans le vide, par **H. Pflaum.** *Dr. Ann.*, t. I, p. 290-294, février 1900.

Un électroscope à feuilles d'or ou d'aluminium peut fonctionner quand il se trouve dans une enveloppe vide.

L'appareil construit par Muller-Unkel sur la demande de Pflaum, a la forme d'une poire d'environ 12 cm de long. Le bouton de l'électroscope est constitué par une boule creuse en aluminium reposant sur un fil d'aluminium scellé dans le verre. Ce fil s'élargit à l'intérieur de l'ampoule en forme de lamelle et supporte les deux feuilles d'aluminium ($10 \times 1,5$ mm). Les pointes et les aspérités sont évitées avec beaucoup de soin et la soudure est recouverte de ver-

[1] *Rendiconti dei Lincei*, 16 octobre 1892, 30 avril et 12 novembre 1893, 17 juin et 18 novembre 1894, 12 avril 1896. *L'Elettricista*, t. I, p. 257, 1892; t. II, p. 120, 1893 et t. III, p. 7 et 204, 1894. *L'Éclairage Électrique*, t. II, p. 138 et 160; t. VII, p. 407.

nis. Dans la partie inférieure de l'ampoule sont scellés deux fils de platine distants seulement de 0,4 mm.

Si on relie ces fils aux pôles d'une petite bobine d'induction la décharge passe plutôt à travers l'air, quoique la distance soit une centaine de fois plus grande : mais les feuilles d'aluminium sont vivement attirées et repoussées.

Si on approche un corps électrisé du bouton, les feuilles s'écartent et sont électrisées de la même manière que le corps. Eloigne-t-on le corps, les feuilles retombent et s'écartent de nouveau, mais avec une électrisation de signe contraire à la première, ce qui s'explique par la déperdition rapide de l'électricité négative à travers le vide.

Cet électroscope est très sensible pour les expériences ordinaires, mais il faut éviter avec soin l'électrisation de la paroi de verre, qui se maintient très longtemps quand on l'a laissée se produire.

Sous l'influence des oscillations électriques excitées dans le voisinage de l'appareil, les feuilles vibrent fortement ; s'il s'agit des oscillations d'une bobine ou d'un système de Tesla, les feuilles prennent peu à peu une charge permanente : positive ou négative dans le premier cas, négative dans le second si le transformateur est très près, positive s'il est plus éloigné.

Dans aucun cas, si forte que soit l'influence électrostatique, on n'observe jamais trace de lumière.

Les actions électrostatiques s'exercent donc très bien à travers le vide et le rayonnement de l'électricité s'y produit plus facilement que dans l'air. M. L.

Sur le mode de fonctionnement du cohéreur, par **R. Malagoli**. *Il Nuovo Cimento*, t. X, p. 279, octobre 1899.

Tommasina a montré que pendant le fonctionnement d'un cohéreur, il y a outre les étincelles entre les grains de limaille, formation de chaînes conductrices constituées par ces grains soudés les uns aux autres par l'action thermique de l'étincelle [1].

Malagoli a repris l'expérience en la modifiant légèrement : Dans le fond d'un flacon, on place un disque métallique en communication avec l'extérieur et saupoudré de copeaux de laiton provenant du travail au tour, on remplit de pétrole ou d'huile de vaseline et on immerge une petite sphère tenue par un fil qui sort du flacon. Un des conducteurs est au sol, l'autre est relié à un pôle d'une machine statique faible (potentiel ne dépassant pas 80 volts).

Pour une distance un peu grande des électrodes on obtient une décharge convective accompagnée d'attractions et de repulsions de la limaille. Un galvanomètre en série avec une pile et relié aux deux électrodes montre que le circuit reste ouvert pendant la décharge.

Si l'on diminue la distance jusqu'à 2 cm le mouvement précédent qui se produit d'abord cesse par la formation d'une chaîne entre les électrodes tandis que les autres grains retombent, le galvanomètre éprouve une déviation permanente.

C'est évidemment un phénomène d'induction électrostatique, lorsque la chaîne existe, elle équilibre le potentiel entre la sphère et le disque, le champ électrique s'annule dans le liquide, il n'y a donc plus d'action inductive ou pondéromotrice et les grains retombent, la chaîne seule subsiste.

La chaîne se forme aisément même avec la limaille de fer; Tommasina avait au contraire observé que dans l'eau la limaille de fer est peu ou point adhésive.

Quant au temps nécessaire pour la formation de la chaîne il dépend des mouvements de convection entre les électrodes grâce auxquels il vient un moment où une série de grains sont à distance telle que l'étincelle puisse se produire avec la différence de potentiel employée ; Tommasi a trouvé en effet que ce temps diminue quand la différence de potentiel augmente et quand la distance des électrodes diminue.

Le liquide peu visqueux et bon isolant employé par Malagoli est bien plus favorable à ces expériences que l'eau dont la conductibilité empêche le champ d'atteindre au début sa valeur maxima. Dans l'air le phénomène se produit difficilement, sans doute à cause de la déperdition par les pointes des grains de limaille.

Dans les cohéreurs, il faut un temps inappréciable pour que les mouvements de convection rendent possible le passage des étincelles ; ces

[1] *Comptes rendus*, t. CXXVIII, p. 1092 et 1225, t. CXXIX, p. 40. *L'Éclairage Électrique*, t. XIX, p. 278, t. XX, p. 35 et 75.

mouvements doivent commencer même sous l'action de champs à inversion très rapide, ils augmentent la compacité de la poudre si déjà les distances ne sont pas suffisantes pour laisser passer l'étincelle.

G. Goisot.

Électricité atmosphérique ; base expérimentale de la théorie d'Exner, par G. Schwalbe. *Dr. Ann.*, t. I, p. 294-299, février 1900.

Schwalbe a répété les expériences de Pellat (1) sur l'électrisation de la vapeur d'eau, en faisant varier le signe de l'électrisation, et a obtenu des résultats négatifs ; d'après lui, la déperdition est la même, que la capsule soit vide ou remplie d'eau.

D'après une étude théorique de Trabert, il serait très vraisemblable que la quantité d'électricité emportée par la vapeur dût être très petite.

Phénomènes de rayonnement irréversibles, par M. Planck. *Dt. Ann.*, t. I, p. 69-122, janvier 1900.

Ce mémoire, d'ailleurs fort intéressant, est trop étendu et d'un caractère trop mathématique pour se prêter à une analyse détaillée.

L'auteur étudie les phénomènes de rayonnement au point de vue de la théorie électromagnétique. Il cherche s'il existe une fonction, qui déterminée à chaque instant par l'état du système croît constamment d'une manière analogue à la variation de l'entropie, ce qu'on pourrait appeler une entropie électromagnétique.

Les équations fondamentales de Maxwell ne suffisent pas pour retrouver le principe de l'entropie par des considérations d'ordre exclusivement électromagnétique ; il est nécessaire d'introduire une nouvelle hypothèse.

Cette hypothèse est celle du « rayonnement naturel » ; elle consiste à admettre une répartition absolument irrégulière de l'énergie rayonnée entre les vibrations partielles en lesquelles on peut décomposer le rayon.

Il est possible alors de calculer l'énergie totale du système de résonateurs, l'entropie de ce système et de donner une définition électromagnétique de la température absolue. M. L.

(1) *L'Éclairage Électrique*, t. XVIII, p. 481.

Sur quelques propriétés thermiques de l'air qui a été traversé par des étincelles, par P. Pettinelli. *Il Nuovo Cimento*, t. X, p. 117, août 1899.

Wilson (1) a constaté que les rayons X, lorsqu'ils agissent sur l'air humide se détendant, y produisent un nuage plus persistant que si la détente a lieu sous l'action des rayons. Cet effet a semblé dû à l'ionisation de l'air et J. Thompson a déduit de ces expériences le nombre des ions produits dans 1 cm³ d'air (2).

Pettinelli (3) a observé que les rayons X accélèrent la vitesse de refroidissement d'un corps dans l'air et il vient de montrer dans un travail récent que l'air ionisé par le passage des étincelles produit les deux effets précités.

Pour rendre l'ionisation plus efficace, l'auteur fait éclater les étincelles entre deux conducteurs à pointes, et cherche à obtenir de brusques variations de potentiel pour que le champ électrostatique ne dissipe pas les ions produits ; à cet effet il emploie les décharges de 2 à 3 cm d'un Ruhmkorff, ou celles qui éclatent entre les armatures externes isolées des condensateurs d'une machine statique donnant entre ses pôles des étincelles de 3 cm.

Un œuf électrique avec conducteurs internes à pointes communique avec une machine pneumatique, on donne deux ou trois coups de piston et l'on n'observe aucun nuage quand l'humidité relative est inférieure à 60 pour une température de 20°. Si après avoir fait rentrer l'air on fait éclater 7 ou 8 étincelles entre les pointes placées à 2 cm, lorsqu'on fait agir le piston de la machine on voit se former un épais nuage qui subsiste plusieurs secondes. L'expérience réussit encore si l'humidité relative n'est que de 30 ; ou si après avoir fait le vide dans le ballon on laisse rentrer l'air ionisé par des étincelles qui éclatent entre une pointe et la paroi interne de l'orifice de rentrée de l'air.

L'auteur a observé d'autre part que l'air soumis aux étincelles enlève plus rapidement la chaleur d'une surface chaude avec laquelle il est en contact que l'air ordinaire. Il emploie dans ce but un ballon entouré d'un bain à température

(1) *Proceedings of the Royal Society*, t. LIX, p. 338.

(2) *Philosophical Magazine*, t. XLVI, p. 528, décembre 1898.

(3) *Il Nuovo Cimento* t. VIII, p. 299. *L'Écl. Élect.*, t. XXI, p. 399, 9 décembre 1899.

constante et place dans ce ballon un thermomètre préalablement porté à une température supérieure, il observe alors le temps nécessaire pour que le niveau du thermomètre passe d'une certaine division à une autre, toutes deux les mêmes dans toutes ces expériences. Pour obtenir l'air ionisé, on introduit dans le ballon deux fils conducteurs entre lesquels éclatent des étincelles de 2 cm.

Le temps employé par le thermomètre pour se refroidir dans l'air ionisé est environ moindre d'un trentième que celui nécessaire dans l'air ordinaire.

L'auteur a vérifié que cette action ne peut être due aux produits chimiques engendrés par les étincelles, étant donné la très faible proportion de ces corps. G. G.

Potentiels explosifs dans les diélectriques solides liquides, par **J.-E. Almy**. *Dr. Ann.*, t. I, p. 508-530, mars 1900.

Les solides sont taillés en forme de lames de quelques millimètres d'épaisseur : la lame est posée sur l'extrémité d'un tube de verre rodé. L'une des électrodes est une boule ou une pointe amenée au contact de la lame, dans l'intérieur du tube : l'autre un cylindre de laiton posé sur cette lame.

La différence de potentiel nécessaire pour produire l'étincelle est un peu plus petite quand la pointe est négative que quand elle est positive ; elle est plus grande entre une boule et un plan qu'entre une pointe et un plan. La température n'a pas d'influence appréciable.

La différence de potentiel explosive est plus petite quand on fait croître la différence par oscillations au lieu de la faire croître d'une manière continue.

Dans le verre la différence de potentiel explosive croît moins vite que l'épaisseur de la lame : dans le mica à peu près proportionnellement à cette épaisseur, dans le quartz, elle est notablement plus grande dans la direction parallèle à l'axe optique que dans la direction perpendiculaire.

Pour les liquides, il importe surtout d'éviter la présence des particules solides qui seraient attirées par les forces électriques entre les électrodes. Les deux électrodes sphériques se trouvent à l'intérieur d'un flacon où on fait arriver le liquide par filtration à travers un vase poreux et qui est d'autre part entièrement fermé. Mais une seule étincelle suffit déjà pour produire dans le liquide des particules solides : même après nouvelle filtration; la différence de potentiel explosive a diminué, ce qui tient à ce que les électrodes sont dépolies. Cette différence de potentiel dépend aussi des dimensions des électrodes et pour les petites distances augmente quand le rayon des boules diminue. M. L.

Action des rayons ultraviolets sur les gaz, par **P. Lenard**. *Dr. Ann.*, t. I, 486-508, mars 1900.

Les rayons ultraviolets pénétrant à travers une fenêtre de quartz dans une enceinte imperméable d'autre part à la lumière, exercent sur un jet de vapeur débouchant dans cette enceinte une action très marquée. La vapeur qui se présentait sous la forme d'un brouillard aux contours vagues se rassemble en nuage aux contours beaucoup mieux définis ; sa teinte de gris mat devient scintillante et peut même passer au blanc brillant. Ces phénomènes décèlent d'après Aitken et R. von Helmholtz la présence dans l'air de noyaux de condensation.

L'expérience réussit bien avec la lumière de l'étincelle électrique. Le phénomène est surtout intense au voisinage immédiat de la fenêtre de quartz : il s'y produit et cesse simultanément avec l'étincelle : mais plus on s'éloigne de la fenêtre plus on constate de retard à l'apparition et à la disparition du phénomène relativement à celles de l'étincelle. La vitesse de propagation des noyaux de condensation est assez faible d'ailleurs ; elle ne dépasse pas 4 à 10 cm par seconde.

Le phénomène n'est pas dû aux rayons visibles : car il disparaît par l'interposition d'une lame de verre ou de mica : ni aux rayons ultraviolets ordinaires, car il cesse quand l'étincelle est éloignée de la fenêtre de plus de 2 cm : et dans ces conditions un corps chargé négativement qu'on place à l'endroit où se trouvait le jet de vapeur est déchargé. Il ne s'agit pas non plus d'une action électrique de l'étincelle, car le phénomène n'est pas modifié quand on interpose un écran de toile métallique à mailles serrées

Le quartz, le sel gemme, le gypse, la fluorine sont beaucoup plus transparents que l'air, tandis que l'aluminium en mince feuille, le celluloïd, le mica, l'émeraude sont complètement opaques sous une épaisseur de quelques millimètres. Les

substances transparentes deviennent opaques quand elles sont dépolies. Les radiations actives traversent le vide et sont peu absorbées par l'hydrogène même sous la pression atmosphérique. Parmi les métaux qu'on peut employer comme pôles de l'étincelle, c'est l'aluminium qui fournit les radiations les plus actives.

Ces radiations se propagent en ligne droite : elles sont réfrangibles et on réussit à les concentrer au moyen d'une lentille de quartz : leur réfrangibilité est plus grande que celle des radiations visibles.

Des expériences effectuées avec des lentilles de quartz, de sel gemme, de fluorine, Lénard a déduit que la longueur d'onde de ces radiations est comprise entre $0^{\mu},14$ et $0^{\mu},20$ (calculé d'après la formule de dispersion de Helmholtz).

L'oxygène, l'air, le gaz carbonique se comportent de la même manière : dans l'hydrogène le jet de vapeur n'est pas sensible et dans le gaz de l'éclairage, il l'est très peu. Cependant ce dernier gaz absorbe fortement les radiations actives : l'absorption n'est donc pas une condition suffisante de la sensibilité du gaz.

Ces radiations provoquent aussi une décharge rapide des corps électrisés et ce qui est à remarquer la déperdition de l'électricité positive est aussi rapide que celle de l'électricité négative : la nature de la surface irradiée est indifférente, contrairement à ce qu'on observe dans la déperdition de l'électricité négative.

Les métaux se rangent dans le même ordre, qu'on compare leurs radiations par leur action sur le jet de vapeur ou sur les conducteurs électrisés.

L'air traversé par ces radiations devient conducteur et conserve cette conductibilité pendant quelques instants : en effet il provoque la décharge d'un condensateur entre les armatures duquel on le fait circuler. En même temps, il se forme des quantités notables d'azone.

Parmi les autres sources de lumière, le bec papillon, le Bunsen brûlant bleu, le chalumeau à air, la flamme de l'hydrogène brûlant dans l'air ou dans l'oxygène, la flamme du sulfure de carbone, du magnésium, la lumière Drummond, la lampe à Zircon, n'émettent pas de ces radiations.

L'arc électrique est au contraire très actif et les radiations sont émises par l'air incandescent, car elles atteignent leur intensité maxima quand l'arc est complètement développé et elles disparaissent quand on éteint l'arc en écartant les charbons ou en les amenant au contact.

Lénard est porté à penser que la photosphère et les protubérances solaires émettent de semblables radiations, qui peuvent dans certaines circonstances atteindre la terre : il y trouverait l'explication d'une déperdition tout à fait anormale qu'il a constatée au cours d'observations faites sur l'électricité atmosphérique à de grandes altitudes : déperdition qu'il avait attribuée alors à un défaut d'isolement de son électroscope.

M. L.

Absorption de la lumière par les gaz luminescents, par **M. Cantor**. *Dr. Ann.*, t. I, 462-466, mars 1900.

Les gaz rendus luminescents par les décharges électriques n'absorbent pas les radiations lumineuses de même période que celles qu'ils émettent. D'après la théorie de Kirchhoff, le gaz luminescent devrait donc être à une température très élevée, tandis que cette température est, d'après les mesures de E. Wiedemann, relativement très basse.

Hittorf avait déjà remarqué que le renversement des raies ne s'obtient pas avec les gaz luminescents par l'action des décharges : la loi de Kirchhoff n'est donc pas applicable à ces gaz.

M. L.

Conductibilité électrolytique des gaz raréfiés dans les tubes de Geissler, par **H. Morris-Airey.** *Dr. Ann.*, t. I, 466-468.

Dans un double tube de Geissler renfermant un mélange d'hydrogène et de chlore, on fait passer la décharge en prenant les électrodes extrêmes : puis on scelle le tube entre les deux électrodes intermédiaires et dans chaque moitié qui forme un tube complet, on fait de nouveau passer la décharge. On constate la présence du chlore dans les deux parties du tube, aussi bien dans celle qui contenait la cathode primitive que dans celle renfermant l'anode : or cette dernière n'en montrait pas trace quand le tube était dans son état primitif : ce résultat n'est pas d'accord avec l'hypothèse de J.-J. Thomson.

M. L.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

ACADÉMIE DES SCIENCES

Séance du 7 Mai 1900 [1]

Observations magnétiques sur la côte orientale de Madagascar, par le Père **Colin**. *Comptes-rendus*, t. CXXX, p. 1229-1231.

D'observations faites les 28 février et 1er mars au village Vatomandry, l'auteur a déduit les résultats suivants :

Longitude est de Paris	$3^h6^m23^s,2$ ou 46°35'48"
Latitude sud	19°19'33"
Déclinaison NW	7°26' 1"
Inclinaison	57°18' 8"
Composante horizontale (unités C.G.S.), ...	0,22059

Le 3 mars, à Marosika, localité peu distante, il a trouvé

Latitude sud.	19°36'7"
Déclinaison NW	12°24'3"

Enfin le 4 mars, il a obtenu à Mahanoro

Longitude est de Paris . . .	$3^h5^m37^s,12$ ou 46°24'18"
Latitude sud	19°55'8"
Déclinaison NW	11°29'11"
Inclinaison	54°48'10"
Composante horizontale (unités C.G.S.)	0,21596

En réunissant toute la série des observations magnétiques faites par le Père Colin en 1892, 1896 et 1900, depuis Tamatave, Ampanotoamaizina, Andevorante, Vatomandry, Marosika et Mahanoro, on constate, le long de cette zone de la côte orientale, une inégalité magnétique qui se manifeste par les effets suivants : (*a*) la déclinaison subit une hausse et une baisse alternatives, d'après l'ordre des stations énumérées plus haut ; (*b*) le maximum de perturbation se trouve à Andevorante, le minimum à Vatomandry ; (*c*) la déclinaison et l'inclinaison varient en sens inverse l'une de l'autre.

(1) Outre les communications analysées ici, signalons une note de M. Fery sur son *Pendule à restitution électrique constante* qui sera analysée dans un prochain numéro.

Sur les moteurs à gaz à explosion, par **L. Marchis**. *Comptes-rendus*, t. CXXX, p. 1246-1248.

A propos de la note récente de M. Witz sur ce sujet [1], l'auteur présente les observations suivantes :

« 1° Ma note du 12 mars portait (je l'ai dit expressément et la figure qui y est jointe en fait foi) uniquement sur les moteurs du type Otto, c'est-à-dire sur les moteurs dans lesquels la course de compression est *égale* à la course de détente. M. Witz, au contraire, parle de moteurs dans lesquels la course de compression est *moindre* que la course de détente. Je n'ai donc pas pu dire que le cycle des moteurs du type Atkinson, Charon, Letombe, Heynen, etc., était une imagination sans réalité ; je n'ai pas pu dire non plus que la formule du rendement de ces moteurs reposait sur une hypothèse absurde.

» 2° Si j'ai interprété d'une manière inexacte la pensée de M. Witz, mon erreur est, je crois, partagée. Beaucoup de bons auteurs [2] qui se réclament des ouvrages si justement estimés de M. Witz écrivent que, dans un motteur Otto, la détente peut être complète. Ont-ils donc mal compris les théories de M. Witz ? Dans sa dernière note, M. Witz considère comme « une imperfection du cycle réel subie dans la pratique » ce fait que l'échappement des gaz dans un moteur Otto commence à une pression H' plus grande que la pression atmosphérique H, mais il ajoute que « cette imperfection ne saurait être prise comme type ». Si je ne commets pas d'erreur d'interprétation, cette phrase équivaut à l'énoncé suivant : Dans le diagramme théorique du moteur Otto, on doit supposer $H' = H$; si les diagrammes expérimentalement relevés marquent pour H' une valeur supérieure à H, c'est uniquement parce que les conditions expérimentales s'écartent des conditions suppo-

(1) *L'Écl. Élect.*, t. XXIII, p. 193, 5 mai 1900.

(2) Voir, par exemple, Alheilig et Roche, *Traité des machines à vapeur*, t. II, p. 294. (Paris, Gauthier-Villars).

sées par la théorie. Or justement j'ai montré dans ma première note que l'égalité $H' = H$ était en contradiction avec les suppositions de la théorie.

» 3° M. Witz trouve indiscutable la formule du rendement.

$$\rho = \frac{c(T - \theta) - C(t - t')}{c(T - \theta)} = 1 - \gamma \frac{t - t'}{T - \theta}$$

[notation de M. Witz].

» Cette formule semble être donnée comme absolument générale pour les moteurs à explosion avec compression quel que soit le rapport entre la course de compression et la course de détente. Or, une telle formule est manifestement inexacte pour un moteur Otto. D'ailleurs, même pour un moteur du type Charon, elle n'est vraie que moyennant l'hypothèse de l'égalité à toutes les températures des chaleurs spécifiques des produits de la combustion et de celles du mélange gazeux primitif.

» 4° D'après M. Witz « un cycle théorique doit répondre, autant qu'il est possible, à la réalité des faits ». Or, la suite des modifications éprouvées par le mélange gazeux dans un moteur Otto ne peut constituer un cycle, puisque l'état final est différent de l'état initial ; le diagramme théorique du moteur ne peut donc fournir un cycle et l'on ne peut l'étudier qu'en lui appliquant le principe de l'équivalence sous la forme qui convient aux transformations ouvertes. C'est en se plaçant à ce point de vue que l'on doit regarder la théorie généralement adoptée pour le moteur Otto et, plus généralement, pour les moteurs à gaz comme procédant d'une application inexacte des principes fondamentaux de la Thermodynamique. Si, par un heureux hasard et grâce à certaines approximations, elle conduit parfois à des résultats exacts, elle n'en est pas moins fondée sur des bases très fragiles. Il me semble que c'est faire œuvre utile que de rattacher cette théorie par des raisonnements logiques à des principes admis par tous. »

Sur l'excitation du nerf électrique de la torpille par son propre courant, par **Mendelssohn**.

Comptes rendus, t. CXXX, p. 1274-1276.

Tout nerf moteur pouvant être excité par son propre courant fermé sur lui-même (du Bois-Reymond, Küshne, Hering), l'auteur a pensé qu'il devait en être ainsi pour le nerf électrique de la torpille. Des expériences qu'il a faites sur 32 torpilles de tailles différentes, l'auteur conclut que *le nerf électrique de la torpille peut être excité par son propre courant*. Ce mode d'excitation, qui constitue une véritable *auto-excitation* du nerf électrique, doit jouer un rôle important dans le processus d'excitation qui accompagne l'électrogène chez les poissons électriques. Il démontre en même temps qu'une faible quantité d'énergie potentielle est nécessaire ou du moins suffisante pour produire une décharge chez la torpille. Un courant nerveux de $0^{volt},015$ fermé sur lui-même peut aboutir à une décharge de l'organe électrique de 8 à 15 volts.

Sur les aurores australes observées pendant l'hivernage de l'expédition antarctique belge, par **Henrik Arçtowski**.

Pendant l'hivernage de la *Belgica* du 7 mars 1898 au 14 mars 1899, l'auteur a fait 62 observations en divers points réparties sur 10° de longitude et plus de 1° 30′ de latitude.

« Nos observations, dit-il, permettront d'établir la période diurne de l'aurore, car le phénomène apparaissait généralement entre 7 heures du soir et 2 heures du matin, et son maximum d'intensité tombait le plus souvent entre 9 heures et 10 heures.

» Quant à la période annuelle, on ne saurait évidemment pas l'établir avec certitude à l'aide d'une seule année d'observations. Pourtant, le Tableau démontre très clairement que le maximum de fréquence tombe en dehors des mois de la nuit polaire, et que l'intensité du phénomène auroral est manifestement plus grande aux équinoxes.

» Au mois de mars et au commencement du mois d'avril, nous avons observé de belles aurores d'un aspect variable ; en juillet, au contraire, de simples lueurs aurorales ont été prédominantes ; plus tard, en septembre, nous avons pu revoir des aurores très mouvementées et d'une clarté relativement intense.

» Il y a à signaler, dans cette série d'observations, un fait remarquable : c'est la prédominance de l'arc homogène, qui se maintient souvent invariable pendant de longues heures, toujours au même endroit de l'horizon.

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE

Séance du 4 mai 1900.

Recherches sur la transparence de l'aluminium au rayonnement du radium, par **H. Becquerel.**

Après avoir indiqué comment il a démontré que la transmission du rayonnement du radium au travers d'un écran est accompagnée de plusieurs phénomènes distincts : une absorption élective, une diffusion parfois considérable, une émission de rayons secondaires comprenant des rayons déviables par un champ magnétique et des rayons qui ne le sont pas, et enfin une transformation directe d'une partie du rayonnement, qui semble rester identique à elle-même et subir la même déviation magnétique (¹), M. H. Becquerel décrit quelques expériences nouvelles tendant à confirmer sa manière de voir, qui est en opposition avec des résultats annoncés par M. Villard (²).

1° Entre les larges surfaces polaires d'un électro-aimant, distantes de 0,16 mm, on place du chlorure de baryum radio-actif, dans une rainure de 1 mm de large, pratiquée dans un bloc de plomb, parallèlement aux lignes de force. A une distance de 11,5 mm est une tige de cuivre de 4 mm de diamètre, et, à une distance égale, une plaque photographique enveloppée de papier noir.

Quand le champ magnétique est nul, les ombres et pénombres sont exactement déterminées par la loi de la propagation rectiligne ; dans un champ faible, les trajectoires sont des cercles de grand rayon, dont le plan est normal au champ ; l'ombre est déplacée en conservant à peu près la même largeur.

2° Si l'on place au contact de la tige horizontale, soit au-dessus, soit au-dessous, une *lame d'aluminium* de 9,1 mm d'épaisseur, inclinée à 45°, l'ombre conserve la même largeur dans un champ nul ; elle est seulement affaiblie par une impression diffuse due à des rayons secondaires ou diffusés.

Dans le champ magnétique, l'ombre est déviée ; l'écart des deux positions qu'on obtient en renversant le courant est un peu plus faible que dans le cas précédent, parce que le maximum d'action du rayonnement qui a traversé l'aluminium correspond à des rayons moins déviés que ceux qui agissent le plus fortement après avoir traversé le papier noir.

3° Lorsque l'écran ne s'étend pas jusqu'au contact de la plaque photographique, son bord rectiligne donne une ombre également déviée par le champ.

4° En recouvrant la matière radioactive d'une *lamelle de verre* de 0,1 mm d'épaisseur, on ne change pas la déviation observée soit directement soit à travers l'aluminium.

5° M. Villard a conclu d'une de ses expériences que les rayons *non déviables* traversent l'aluminium sans se réfracter, tandis que les rayons *déviables* émergent *normalement*. M. H. Becquerel pense que cette déviation n'est pas absolument certaine ; l'ombre du bord de l'écran, qui, dans l'expérience de M. Villard, se produit entre le faisceau direct et le faisceau transmis, peut faire croire à une déviation.

6. Si l'on place au-dessous d'une fente une source linéaire recouverte d'une lame d'aluminium, de 0,01 mm. d'épaisseur, qui arrête la lumière et au-dessus une plaque photographique inclinée, non enveloppée, on observe un faisceau rectiligne non dévié, un faisceau dévié dans le champ magnétique et une impression diffuse non déviée. Une lame de plomb de 0,15 mm., substituée à l'aluminium, supprime le faisceau non dévié et renforce l'impression diffuse. Ce faisceau non dévié est également arrêté par un papier noir enveloppant la plaque photgraphique ; il correspond bien aux rayons non déviables et peu pénétrants observés par M. et Mme Curie. Aucune expérience ne révèle, dans le rayonnement du chlorure de baryum préparé par M. et Mme Curie, l'existence de rayons non déviables très pénétrants, tels que ceux que croit avoir observés M. Villard dans le rayonnement d'un corps actif d'origine différente.

7. Enfin, M. Becquerel a vérifié de nouveau que le verre et les cristaux qui possèdent la radioactivité induite peuvent être posés sur une plaque photographique pendant plus de douze heures sans causer d'impression.

La réponse de M. Villard est remise à la prochaine séance. C. R.

(¹) *L'Éclairage Électrique*, t. XXIII.
(²) *Ibid.*

Le Gérant : C. NAUD.

Tome XXIII. Samedi 26 Mai 1900. 7e Année. — N° 21

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

L'EXPOSITION UNIVERSELLE

APPAREIL COMMUTATEUR DARDEAU. — APPLICATION A LA TÉLÉPHONIE

Pour bien définir le but de l'appareil et en comprendre les avantages, nous dirons seulement qu'il est destiné à supprimer toute intervention des employés de poste intermédiaires pour la mise en communication de deux ou d'un plus grand nombre des postes échelonnés sur la ligne. C'est là un avantage extrêmement important dans une exploitation de tramways ou de chemins de fer sur route. On évite ainsi d'immobiliser un agent pour les services téléphoniques et télégraphiques.

Disons tout de suite que l'on peut desservir avec ces appareils une ligne de 25 postes sans que la complication ni les dimensions des appareils augmentent.

Le système Dardeau réalise un certain nombre de desiderata importants, dont les principaux sont les suivants :

Il permet 1° de donner un appel continu dans un poste quelconque et dans celui-là seul ;

2° De supprimer cet appel si le poste n'a pas répondu au bout d'un certain temps ;

3° De recevoir la réponse par sonnerie du poste appelé ;

4° D'appeler et de mettre en correspondance collective un nombre quelconque de postes embrochés quel que soit l'ordre de ces postes ;

5° D'appeler tous les postes à la fois pour leur transmettre simultanément des ordres. (Un poste quelconque pouvant effectuer cet appel) ;

6° De faire connaître dans tous les postes si la ligne est libre ou occupée et le poste qui est appelé ;

7° Dans le cas d'occupation prolongée de la ligne, de permettre dans un cas urgent à un poste quelconque d'avertir au moyen d'un signal convenu les postes en communication

**

qu'il y a nécessité de lui céder la ligne et au besoin les interrompre dans le cas d'absolue nécessité pour appeler le poste voulu;

8° D'assurer le secret absolu des communications entre les postes occupés.

Ajoutons que les appareils sont tous identiques de façon à pouvoir être répartis indifféremment sur le réseau et être facilement interchangeables.

Il est à remarquer qu'il est possible d'augmenter sans difficulté sérieuse le nombre des postes dans une installation déjà en service : une disposition ingénieuse de la roue d'échappement permet de la retirer et de la remplacer par une autre roue divisée spécialement pour le nouveau nombre de postes à desservir. Cette substitution se fait sur place en quelques minutes sans qu'il soit nécessaire de démonter l'appareil et sans interrompre le service.

La manœuvre de l'appareil est d'une extrême simplicité.

Elle consiste à presser sur deux boutons; l'un, le bouton blanc, sert à faire déclancher l'appareil et aussi à lancer l'appel quand on est arrivé par la manœuvre du bouton noir sur le secteur du cadran correspondant au poste avec qui on désire entrer en communication.

L'arrêt d'un ou de plusieurs appareils ne peut en quoi que ce soit gêner le fonctionnement des autres.

On voit déjà par ce qui précède que cet appareil réalise un très grand progrès sur ses devanciers : l'un des avantages du système Dardeau sur la plupart des appareils dits pendulaires ou à appels multiples connus jusqu'ici, est de pouvoir assurer le secret de la conversation entre les deux postes en communication.

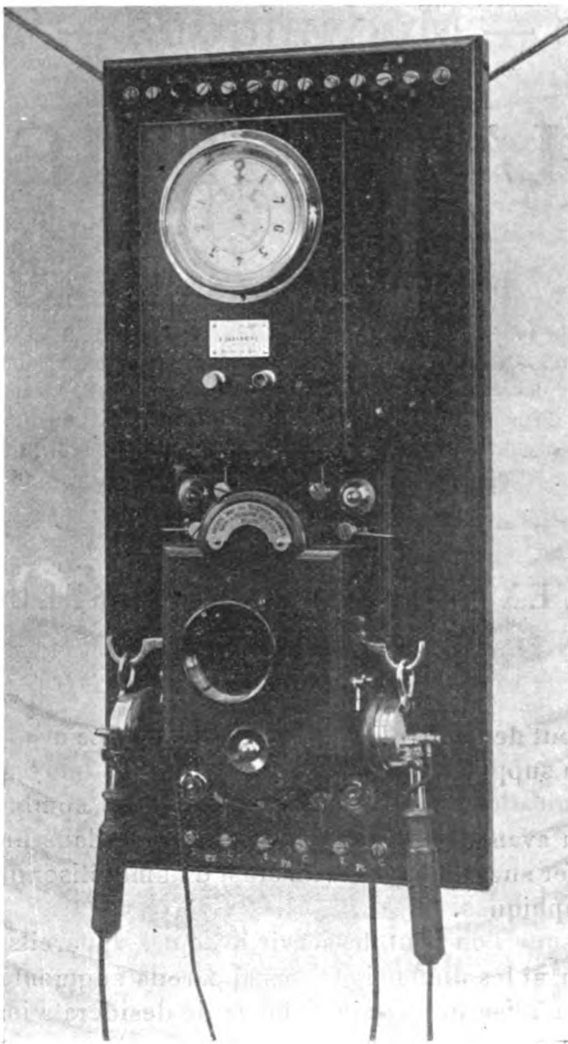


Fig. A. — Vue de l'appareil Dardeau.

Description de l'appareil. — L'appareil Dardeau vu d'ensemble, figure A, comprend comme organes essentiels un télégraphe à aiguille et un mouvement d'horlogerie, ce dernier est représenté de face, en figure 1, le cadran et la platine étant enlevés pour permettre de voir le mouvement. La figure 2 est une vue de derrière. La figure 3 une vue de côté. La figure 4 représente le cadran.

Le dernier rouage *e* du mouvement d'horlogerie commandé par un échappement *s* est en temps normal bloqué par un levier d'arrêt *c* que l'on peut actionner au moyen d'un électro-aimant *a*. Après chaque tour complet, ce rouage *e*, se trouve bloqué par le levier d'arrêt *c* ce qui assure le synchronisme de tous les appareils.

L'arbre p sur lequel il est monté porte d'autre part une aiguille q se déplaçant devant un cadran (fig. 4.) On peut donc suivre avec précision ses déplacements d'ailleurs identiques dans tous les postes.

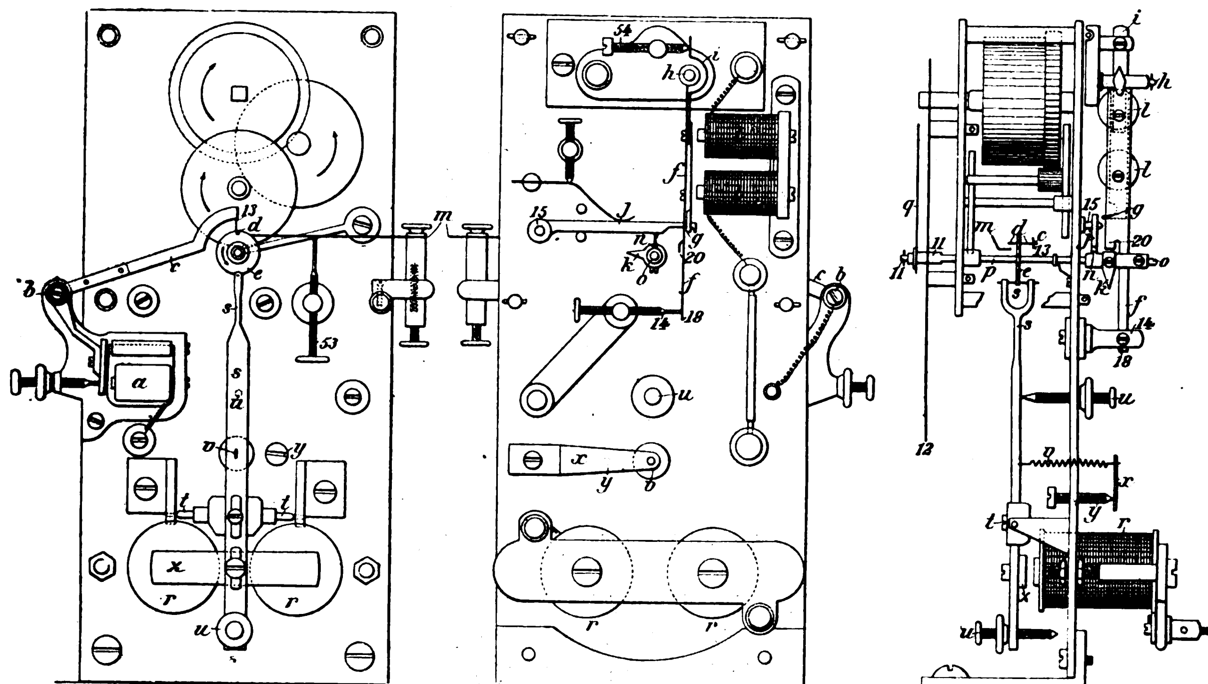


Fig. 1 à 3. — Vue de face, vue arrière et vue de côté de l'appareil Dardeau.

Sur l'arbre p sont également fixées les cames k et n pouvant pendant la rotation du système rencontrer des pièces métalliques et ainsi fermer ou ouvrir des circuits.

La came k est d'ailleurs dans chaque poste placée dans une position différente par rapport à la position d'arrêt (la croix), c'est ce qui nous explique que les appels puissent être réalisés dans un poste quelconque et dans celui-là seulement.

L'envoi d'un courant de sens négatif actionne le levier d'arrêt c et libère le mécanisme.

Toutes les aiguilles sont portées sur le déclenchement.

L'envoi successif de courants du signe positif actionne l'échappement s et laisse avancer le dernier rouage e d'autant de dents qu'il y a eu d'émissions.

Lorsque l'aiguille est en regard du chiffre voulu, l'envoi d'un courant négatif provoque le déclenchement de la sonnerie du poste correspondant à ce chiffre.

L'arrêt de la sonnerie a lieu quand l'agent du poste appelé répond, ou quand le poste appelant ne recevant pas de réponse remet les aiguilles à la croix en continuant l'envoi de courants de sens positif.

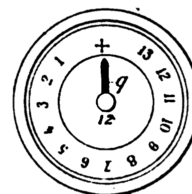


Fig. 4. — Cadran.

Examinons maintenant l'agencement et le fonctionnement de l'appareil appliqué à la téléphonie.

I. Cas d'un poste complet. — Chaque poste comprend : 1° Un appareil téléphonique qui peut être d'un modèle quelconque disposé comme il est indiqué (fig. 5) ;

2° Un relais polarisé ;

3° Une sonnerie à trois bornes ou une sonnerie trembleuse ordinaire suivant le cas ;

4° Deux clés d'appel à deux lames (16-41) et (17-37);
5° L'appareil Dardeau dont les organes sont représentés au centre de la figure ;
6° Une pile de ligne (21), une pile locale (26) et une pile pour le microphone.

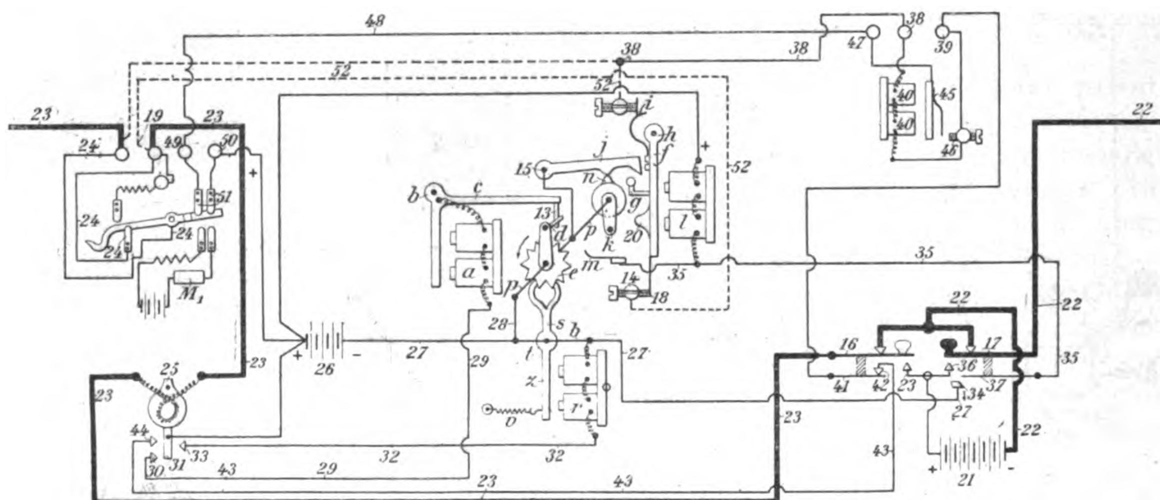


Fig. 5. — Schéma d'un poste complet.

Fonctionnement de l'appareil. — La clé 16 fait manœuvrer l'armature du relais de ligne 25 à gauche. La clé 17 fait manœuvrer l'armature du relais de ligne 25 à droite.

Lorsque les points 14-18 du relais *l* sont en contact, le pont est fermé, c'est-à-dire que les deux bornes 19 de l'appareil téléphonique sont mises en court-circuit par ces deux points (circuit 52 en pointillé sur le schéma figure 5) et par conséquent aucune conversation ne peut être surprise.

Ces deux contacts 14, 18, peuvent être rompus de deux façons :

1° Lorsque l'électro *l* fonctionne et attire le levier *f*, lequel soulève au moyen du crochet *g*,

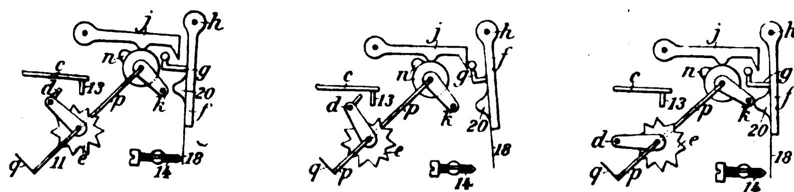


Fig. 6 à 8. — Positions de l'armature du relais local dans les divers postes.

le levier *j*, qui retombe ensuite derrière lui pour l'enclencher (cas du poste appelant, figure 7).

2° Lorsque la pointe de la came *k* vient pousser 20 et par suite l'armature *f* de l'électro *l* (cas du poste appelé, fig. 8).

Poste appelant. — 1° En appuyant sur la clé 16 dans un des postes, le relais de ligne est attiré à gauche ; son circuit est fermé sur la pile de ligne 21 par : — pile de ligne 21, fil 22, ligne vers la droite, traversée de tous les postes, retour par la ligne de gauche, fil 23, bornes 19 et fils 24 de l'appareil téléphonique, relai de ligne 25 et + pile de ligne 21.

Le relai de déclenchement *a* fonctionne, son circuit étant fermé sur la pile locale 26 par : — pile 26, fil 27, masse du mouvement 28, roue *e*, goupille *d*, goupille 13, levier *c* commandé par l'électro *a*, électro *a*, fil 29, contact 30 du relais de ligne 25, masse 31 du

relais de ligne et + pile locale 26; l'armature de l'électro *a* est attirée, la goupille 13 fixée à l'extrémité et qui arrêtait le mouvement par *d*, est soulevée, le mouvement est libre, la roue *e* tourne d'une dent vers la gauche et se trouve arrêtée par le système d'échappement (fig. 6) (¹). L'aiguille du cadran (fixée sur le même arbre) qui était au repos sur l'indication + (croix) (fig. 4), se trouve portée devant l'indication « déclenchement » : la came *n* fixée sur l'arbre *p* est portée d'une dent vers la gauche (fig. 6), le crochet *j* est retombé, et son extrémité vient tomber entre *g* et l'armature *f*, sans y toucher (fig. 6). Donc, en appuyant une première fois sur la clé 16, l'aiguille de chacun des postes se trouve sur l'indication « déclenchement » ; dans cette position, une nouvelle pression sur la clé 16 n'aurait aucun effet, les contacts *d* et 13 étant rompus ; on pourra donc appuyer une ou plusieurs fois pour produire le déclenchement par la clé 16.

2° En appuyant sur la clé 17 dans l'un des postes, le relais de ligne 25 est attiré vers la droite, son circuit étant fermé sur la pile de ligne 21 comme pour la clé 16, mais de sens inverse et vient fermer le circuit de la pile locale 26 sur l'électro *r* d'avancement par : — pile 26, fil 27, électro *r*, fil 32, contact 33, masse 31 du relais de ligne 25, et + pile 26; l'armature *z* de l'électro *r* est attirée, le système d'échappement fonctionne, la roue *e* échappe d'une dent, l'aiguille avance d'une division et se trouve alors dans tous les postes devant l'indication « poste, n° 1 » (fig. 4); de plus, dans le *poste appelant seulement*, l'électro *l* a fonctionné, son circuit étant fermé sur la pile locale 26, par — pile 26, fil 27, contact de passage 34 dans la clé 17, fil 35, électro *l* et + pile 26; son armature *f* est attirée, l'extrémité du crochet *j* est retombée en arrière de *g* et maintient l'armature. Dans cette position les deux contacts 14 et 18 étant rompus, le contact *j g* permet de recevoir la réponse de sonnerie du poste appelé (fig. 7).

La clé d'appel 17 est agencée de manière que le fonctionnement de l'électro *r* ait lieu avant celui de l'électro *l* ; à cet effet, la grande lame de la clé 17 touche le plot 36 allant au + de la pile, avant que la petite lame 37 touche au contact de passage 34. Cette disposition particulière a pour but d'éviter que la conversation soit surprise par un autre poste, si ce dernier appuyait doucement sur la clé 17 de façon à enclencher seulement l'électro *l* et à détruire le court-circuit établi entre les bornes de lignes et venant se fermer au 14-18 ; nous appellerons ce court-circuit pont téléphonique.

Chaque fois que l'on appuiera sur la clé 17, les mêmes effets se produiront; dans chaque poste l'aiguille avancera d'une division, et dans le poste appelant, le circuit de la pile locale 26 se fermera sur l'électro *l*, mais l'armature de ce dernier ne fonctionnera plus puisqu'elle est enclenchée par la première pression (voir fig. 7).

Lorsque l'aiguille se trouve sur le numéro du poste avec lequel on désire converser, le poste appelant appuie alors sur la clé 16 ; dans tous les postes, le relais de ligne est attiré à gauche ; ce fonctionnement ne produit aucun effet sur les électros locaux des autres postes et du poste appelant, le circuit de la pile locale étant ouvert dans tous ces postes.

Poste appelé. — En admettant, par exemple, que ce soit le numéro 5, la came *k* est calée sur l'arbre *p* de manière qu'elle soit sur 20 lorsque l'aiguille de ce poste et des autres postes se trouve sur l'indication numéro 5; de même au poste 4, cette came est fixée sur l'arbre *p*, de manière qu'elle soit sur 20, lorsque l'aiguille des postes se trouve sur 4, et ainsi de suite pour les autres postes, la position est alors celle représentée

(¹) Pour obtenir ce résultat, on coupe une dent à la roue d'échappement *e*, cette dent est remplacée par une goupille *d*, portée par un bras accolé à la roue *e*. La goupille *d* est alors calée de telle sorte qu'elle rencontre la goupille 13 fixée au levier d'arrêt au moment où la dent coupée se présente en regard de la fourchette d'échappement *s*.

fig. 8. La came *k* pousse donc l'armature *f*, par 20, sans pour cela que *j* vienne enclencher l'armature par *g*; les contacts 14 et 18 sont rompus, le pont téléphonique est ouvert, la came *k* est en contact avec *f*, le circuit de la pile locale 26 est fermé sur les bornes 38 et 39 de la sonnerie par : — pile 26, fil 27, masse 28 du mouvement, arbre *p*, came *k*, pointe 20, armature *f*, petit ressort *i*, borne 38, sonnerie, électro 40, sonnerie, borne 39, sonnerie petite lame 415 de la clé 16, contact 42, fil 43, contact 44 du relais de ligne 25, masse 31 du relais 25 et + pile 26 : l'armature 45 de la sonnerie est attirée comme dans un électro ordinaire ; lorsque le poste appelant lâche la clé 16, le circuit de la pile locale 26 est rompu, dans le poste appelé, sur les bornes 38 et 39 de la sonnerie, puisque le relai de ligne 25 est revenu à sa position de repos ; le courant cesse de circuler dans l'électro de la sonnerie par les bornes 38 et 39 ; *mais lorsque l'armature de la sonnerie s'est éloignée de son électro 40, son ressort précédemment tendu par l'attraction de l'armature 45 est venu par son élan toucher la borne 46, la sonnerie fonctionne alors en trembleuse par* : — pile locale 26, fil 27, masse du mouvement 28, arbre *p*, came *k*, pointe 20, armature *f*, petit ressort *i*, fil et borne 38, sonnerie, électro sonnerie, contact 46, ressort de l'armature 45, borne 47, sonnerie fil 48, bornes 49 et 50 de l'appareil téléphonique, et + pile locale 26 [1].

Le poste appelé averti par la sonnerie répond au poste appelant en appuyant sur la clé 16, il produit au poste appelant les mêmes effets qu'au poste appelé ; mais le circuit de la pile locale 26 au lieu d'être fermé par *k* 20, comme au poste appelé (fig. 8) se ferme par *j g*, (fig. 7). Il est à remarquer que lorsque le poste appelant appuie sur la clé 16 pour sonner le poste appelé, il coupe le circuit de sa sonnerie par le contact 42 et la petite lame 41 de cette clé. La sonnerie du poste apppelant est restée au repos.

Communication téléphonique. — Les deux postes (appelant et appelé) prévenus par la sonnerie décrochent le récepteur de l'appareil téléphonique ; dans chacun d'eux, le circuit de la pile locale 26 est rompu entre les deux ressorts 51 et les bornes 49 et 50 de l'appareil téléphonique et la sonnerie s'arrête.

La conversation peut s'engager puisqu'au poste appelant, le pont téléphonique est ouvert entre 14 et 18 (fig. 7), ainsi qu'au poste appelé (fig. 8). Les autres postes ne peuvent écouter la conversation, puisque dans ces derniers le pont est fermé [2] (fig. 7).

Pendant la conversation, les autres postes sont avertis que la ligne est occupée puisque l'aiguille est arrêtée sur le numéro du poste appelé.

Lorsque la conversation est terminée, le poste appelant ou appelé (suivant la convention) appuie sur la clé 17 autant de fois qu'il est nécessaire pour remettre les aiguilles à la croix ; si par inadvertance, lorsque les aiguilles sont à la croix, on appuie une ou plusieurs fois de plus, les aiguilles restent malgré cela à la croix puisque la goupille *d* est venue se heurter à la goupille 13 du levier *c* et qu'il faudrait alors appuyer sur la clé 16 pour déclencher de nouveau les aiguilles. Cette inadvertance serait même utile, car en admettant qu'une ou plusieurs aiguilles soient restées en retard pour une cause quelconque, le nombre de coups supplémentaires de la clé 17 rattraperait ce retard, et assurerait le synchronisme de la position des aiguilles à la croix.

---

[1] On peut cependant en cas de nécessité spéciale faire usage de sonneries trembleuses ordinaires. Le mode d'appel est le même, seulement la sonnerie s'arrête quand l'on cesse d'appuyer sur la clé 16.

Le schéma est légèrement modifié; seul le fil 48 est supprimé ainsi que les contacts 51 de l'appareil téléphonique.

[2] Nous entendons par pont téléphonique, nous l'avons déjà dit, un court circuit établi entre les bornes de ligne de l'appareil téléphonique et venant se fermer en 14,18, (fig. 5 et 8) et circuit 52 en pointillé sur le schéma de la figure 5.

Lorsque le poste appelant vient de faire l'appel au poste appelé, et qu'après quelques instants qu'il juge suffisamment longs, il ne reçoit pas de réponse, il peut en conclure que le poste appelé est absent, il appuie alors sur la clé 17 pour remettre les aiguilles à la croix dans tous les postes ; il a de ce fait arrêté la sonnerie au poste appelé par la rupture des contacts *k* 20 (fig. 5).

Appel collectif. — Pendant le cours d'une conversation entre deux postes, il peut y avoir nécessité d'en introduire un ou plusieurs autres ; les manœuvres sont les suivantes. Admettons d'abord que ce soit le poste 1 qui appelle le 3 ; le poste 1 étant appelant a pris la position figure 7 et y reste jusqu'à ce que l'aiguille revienne à la croix ; le poste 3 appelé a pris la position figure 8.

On veut introduire le poste 5 par exemple. Le poste appelé 3 appelle le 5, le 3 devenu poste appelant a pris la position figure 7 et le 5 appelé la position figure 8, et ainsi de suite pour en mettre plusieurs autres successivement en ligne.

Appel général de tous les postes. — Entre l'indication du numéro du dernier poste et la croix, chaque cadran porte l'indication « appel général », la position de l'aiguille lorsqu'elle se trouve en face cette indication correspond à celle de la goupille *d* qui vient de rompre le contact avec la lame *m* ; le contact passager se produit en effet lorsque l'aiguille passe entre l'indication du dernier poste et l'indication « appel général » ; il est cependant d'une durée suffisante pour actionner l'électro *l*, le circuit de la pile locale 26 étant fermé sur ce dernier par : — pile 26, fil 27, masse 28 du mouvement, arbre *p*, goupille *d*, lame *m*, électro *l*, et + pile 26.

Ce fonctionnement a lieu même dans la marche normale, mais lorsque l'aiguille revient à la croix (fig. 4), l'enclenchement *g*, *j* qui a eu lieu par ce contact passager (fig. 7) est détruit par la came *n* soulevant le levier *j* (fig. 5), mais lorsque l'aiguille de chacun des postes se trouve amenée devant l'indication « appel général » par le poste appelant et que dans cette position le poste appelant appuie sur la clé 16, la sonnerie fonctionne dans tous les postes, le circuit de la pile locale 26 étant fermé sur la sonnerie par *j* et *g*, tous les postes sont dans la position figure 7, les ponts sont ouverts et tous les postes peuvent converser ensemble. Chaque sonnerie s'est arrêtée lorsqu'on a décroché le récepteur du commutateur de l'appareil téléphonique. Si un des postes est absent au moment de l'appel général, sa sonnerie fonctionnera pendant la durée de la conversation de tous les autres et le tout sera remis à la position de repos par le poste appelant, qui après la communication générale remettra les aiguilles à la croix (fig. 4) au moyen de la clé 17.

II. Poste d'intercommunication. — Le poste d'intercommunication représenté schématiquement (fig. 9) comprend : deux appareils Dardeau ordinaires A et B avec relais et sonnerie ; une sonnerie fin de conversation C, un appareil téléphonique D et deux commutateurs E et F.

Chaque appareil Dardeau est muni de sa pile locale PL.

Une pile d'appel PA est commune aux deux circuits.

Le commutateur de réseau E est destiné :

1° A placer l'appareil téléphonique sur le circuit sur lequel on doit converser ;

2° A placer la pile d'appel PA sur l'appareil correspondant à ce circuit ;

3° A boucler le circuit avec lequel l'on n'a pas à échanger de conversation.

Le commutateur d'intercommutation F a pour but :

1° De séparer les deux circuits ou de les réunir en un seul ;

2° D'interrompre les circuits des sonneries d'appel des deux postes ;

3° De fermer le circuit de la sonnerie fin de conversation C.

Fonctionnement. — Le commutateur d'intercommunication F étant au repos, c'est-à-dire poussé vers la flèche G, les deux circuits sont indépendants.

La figure représente à titre d'exemple un circuit de 6 postes et un de 12 postes.

Le poste double est à la fois poste n° 4 sur le réseau 1 et poste n° 8 sur le réseau 2.

Supposons que le poste double soit appelé par le réseau 1, l'agent de ce poste poussera le commutateur de réseau E vers la flèche H, ce qui est le cas de la figure. L'appareil téléphonique est mis en relation avec le réseau 1 de même que la pile d'appel PA. Il répond

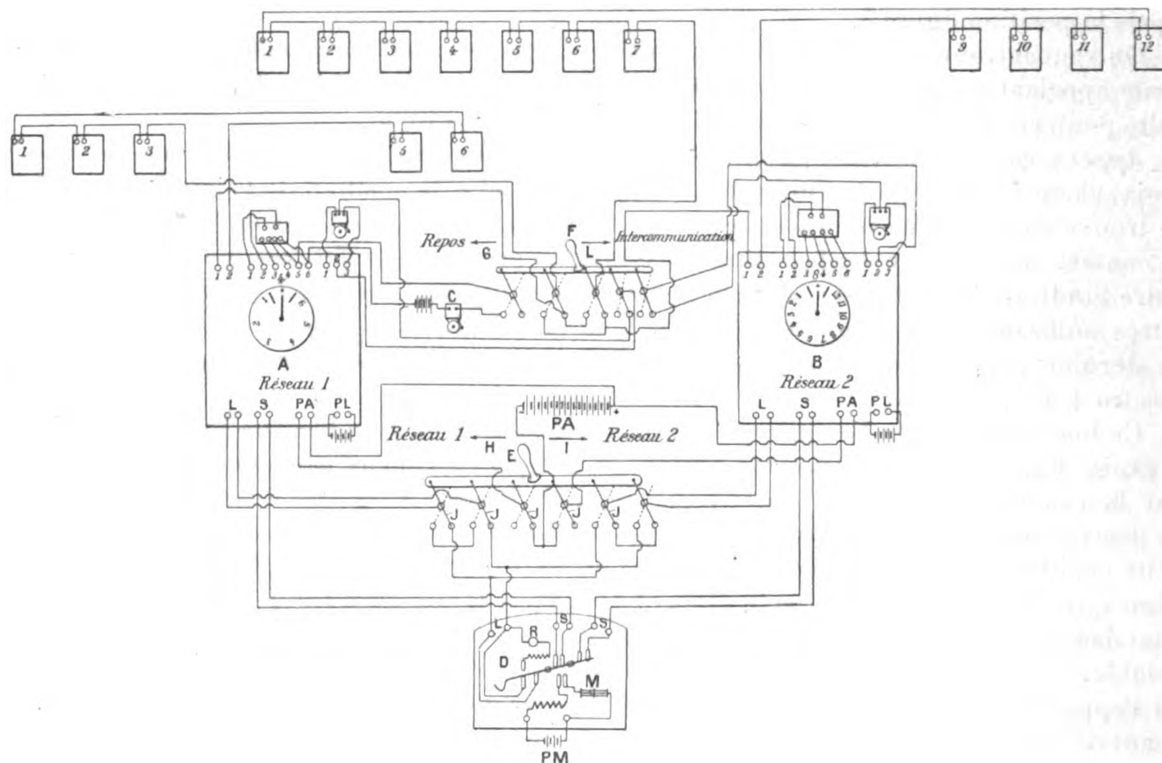


Fig. 9. — Schéma d'un poste d'intercommunication.

ensuite au poste appelant en appuyant sur le bouton blanc comme dans un poste ordinaire, décroche les récepteurs et engage la conversation.

La correspondance terminée il raccroche les récepteurs et abandonne l'appareil sans s'inquiéter de la position du commutateur de réseau.

Il est à remarquer que la disposition de ce commutateur est telle qu'il soit sur le réseau 1 ou sur le réseau 2, le poste peut recevoir l'appel de sonnerie, soit du réseau 1 soit du réseau 2, et même des deux à la fois. Il n'y a donc pas à craindre d'être isolé par suite de la négligence d'un employé qui n'aurait pas remis le commutateur en place pour l'attente après une communication.

Si l'on avait à répondre au réseau 2, on pousserait le commutateur vers la flèche I, les lames de contact *j* prendraient la position en pointillé et l'effet serait le même que précédemment.

En résumé, soit pour répondre, soit pour appeler, on devra d'abord pousser (à moins

qu'il n'y soit déjà) le commutateur de réseau E sur H, ou sur I, suivant que l'on veut communiquer avec l'un ou l'autre réseau.

Intercommunication. — Supposons qu'un poste du réseau 1 veuille communiquer avec un poste du réseau 2 ou inversement.

Il appelle d'abord le poste d'intercommunication et lui demande le poste avec lequel il désire être mis en relation.

L'agent du poste d'intercommunication appelle lui-même le poste demandé, et établit l'intercommunication en poussant le commutateur vers la flèche L, les deux sonneries des postes sont supprimées, ce qui permet aux postes en relation de s'avertir réciproquement par la sonnerie sans déranger le poste d'intercommunication.

Fin de conversation. — A la fin de la communication l'un quelconque des deux postes ou les deux à la fois appuient sur le bouton noir pour remettre les aiguilles à la croix.

A chaque coup de bouton, une sonnerie spéciale fin de conversation C fonctionne au poste d'intercommunication et avertit le préposé qu'il peut rétablir les deux circuits en remettant le commutateur F au repos.

Nous ne voudrions pas terminer cette étude de l'appareil sans dire quelques mots d'avantages spéciaux au système. Le dispositif s'applique aussi bien au simple qu'au double fil. Il suffit de relier les fils de ligne de manière à ce que le courant circule dans ce même sens à travers tous les appareils (fig. 10 et 11). Il est à remarquer également que les seuls enroulements des relais de résistance appropriée à celle de la ligne, sont en série sur celle-ci dans chaque poste, ce qui constitue un avantage au point de vue téléphonique. L'appareil est très peu encombrant. Il permet d'obtenir 2000 tours de cadran sans remontage à la main. Le remontage électro-automatique serait tout aussi simple. Il consomme cependant une quantité d'électricité assez forte et nécessiterait un renforcement des piles. Il suffirait pour cette modification de remplacer le mouvement d'horlogerie par un système électro-magnétique agissant par un cliquet pour la commande de l'arbre p.

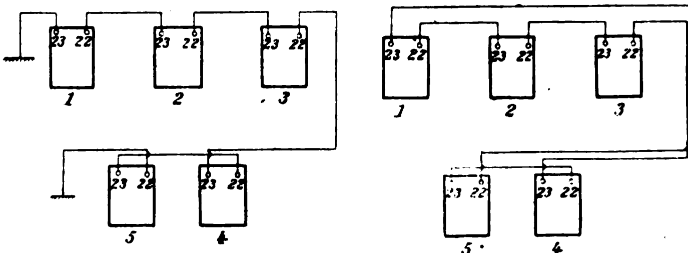


Fig. 10 et 11.

Applications.— Bien que très récent, l'appareil Dardeau a été adopté par plusieurs compagnies. Il fonctionne sur les tramways de Tours (17 postes : ligne de Saint-Martin à Tours), 17 postes desserviront les trottoirs roulants de l'Exposition, et 25 les gares du chemin de fer métropolitain.

Dans les installations précédentes, tous les postes sont en série. La Compagnie générale des Omnibus, à la suite d'essais heureux sur la ligne d'Ivry-les-Halles, a décidé l'application des appareils Dardeau à son réseau téléphonique qui comprend plus de 60 km. Cette installation est très intéressante au point de vue des nombreux postes d'intercommunication que présentera ce réseau et grâce auxquels deux postes quelconques du réseau pourront communiquer entre eux. La Compagnie du chemin de fer sur route de Paris à Arpajon possédera de même trois circuits indépendants comprenant en tout 31 postes dont quatre d'intercommunication.

L. Barbillon,

Docteur ès-sciences.
Ingénieur à la Compagnie générale des Omnibus.

***

NOTE

SUR LE CALCUL DES MOTEURS A COURANTS POLYPHASÉS[1]

Tracé des courbes. — Nous avons tracé les courbes déterminées par les équations que nous avons données dans un article précédent.

La figure 1 représente pour une valeur de $\sigma = 0,1$ et en fonction de $\cos\varphi$:

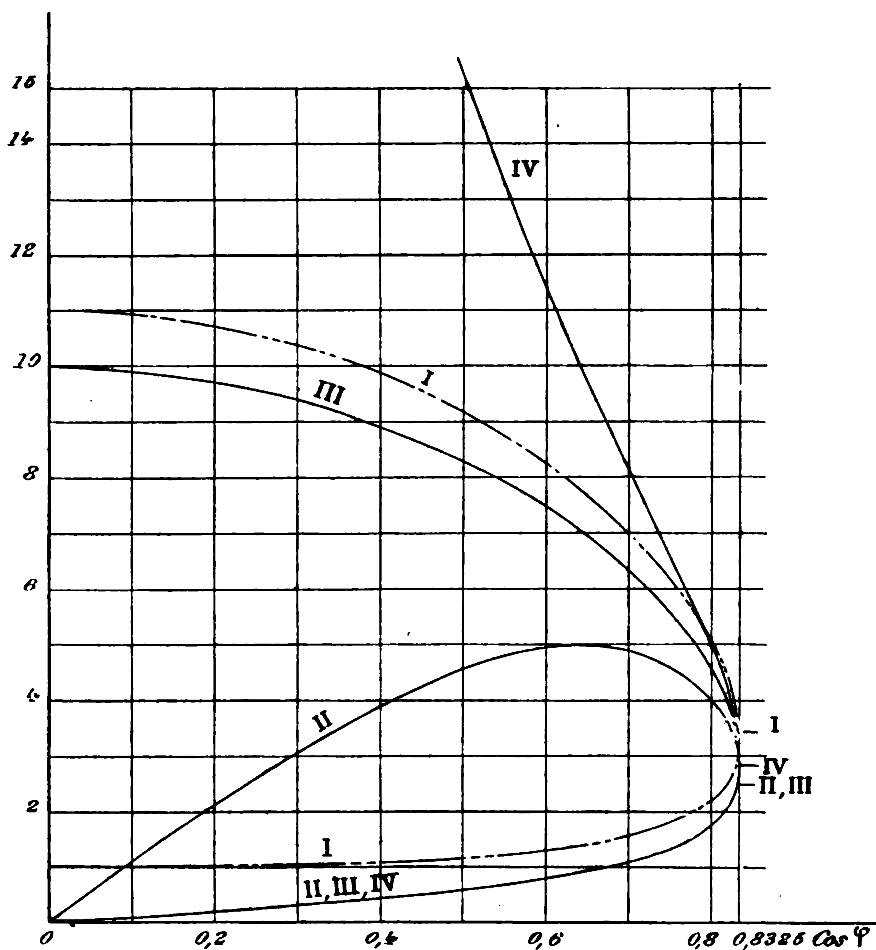


Fig. 1. — Caractéristique d'un moteur asynchrone pour $\sigma = 0,1$.

Courbe 1 : $\frac{I_1}{I_0} = \frac{1}{2\sigma}\left[(1+2\sigma)\sin\varphi \pm \sqrt{1-(1+2\sigma)^2\cos^2\varphi}\right]$

Courbe 2 : $\frac{I_1}{I_0}\cos\varphi$

Courbe III : $\frac{I_2}{I_0} = \sqrt{\frac{I_1^2}{I_0^2} - 2\frac{I_1}{I_0}\sin\varphi + 1}$

Courbe IV : $g = \frac{K\frac{N_1^3}{N_0^2}q_2 \times I_0}{Eq_1} \times \frac{\frac{I_2^2}{I_0^2}}{\frac{I_1}{I_0}\cos\varphi} = K\frac{\frac{I_2^2}{I_0^2}}{\frac{I_1}{I_0}\cos\varphi}$

1° Courbe I. — Les valeurs de $\frac{I_1}{I_0}$; I_1 représentant le courant dans l'inducteur, I_0 le courant magnétisant à vide.

[1] Voir *L'Éclairage Électrique*, t. XXIII, p. 148.

2° Courbe II. — Valeur de $\frac{I_1}{I_0}$ cos φ représentant une quantité proportionnelle au travail ou au couple du moteur. Cette quantité a un maximum qui dans le cas particulier est égal à 5. mais dans le régime de marche normal on devra, autant que possible, faire en sorte que la valeur de $\frac{1}{I_0}$ cos φ se rapproche de celle correspondante au cos φ maximum soit pour $\sigma = 0,1$ cos $\Phi = \frac{1}{1 + 2 \times 0,1} = 0,83$.

3° Courbe III. — Elle représente les valeurs de $\frac{I_2}{I_0}$ rapport du courant dans l'induit au courant magnétisant à vide.

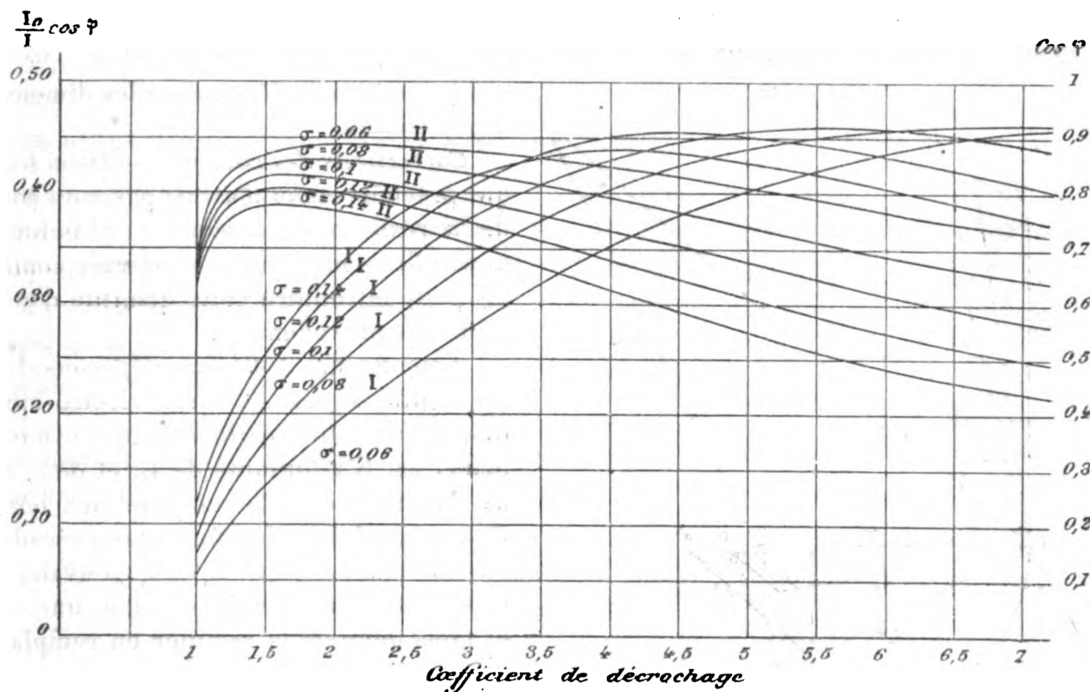


Fig. 2. — Courbes des valeurs de $\frac{I_0}{I}$ cos φ et de cos φ pour différentes valeurs de σ.

Courbes I : $\frac{I_0}{I}$ cos φ Courbes II : cos φ.

On peut admettre que I_1 et I_2 sont dans un rapport constant qui, dans le cas particulier, se trouve être égal à 1,1.

Courbe IV. — Elle représente les valeurs du glissement ou plutôt les valeurs de $\frac{\left(\frac{I_2}{I_0}\right)^2}{\frac{I_1}{I_0} \cos \varphi}$ Pour avoir le glissement, il faudra multiplier les ordonnées de la courbe par la quantité $\frac{r_2 \frac{N_1^2}{N_2^2} q_2 I_0}{E\, q_1}$ qui représente le pourcentage de perte en volts que causerait le courant magnétisant dans la résistance de l'induit ramené au nombre de spires de l'inducteur.

Remarquons que cette constante peut également se mettre sous la forme

$$\frac{r_2 q_2 \left(\frac{N_1}{N_2} I_0\right)^2}{E I_0 q_1}$$

représentant le rapport de la perte ohmique, que causerait, dans l'induit, le passage d'un courant d'excitation $I_0 \frac{N_1}{N_2}$ équivalent au courant magnétisant de l'inducteur, au travail magnétisant apparent $E\, I_0\, q_1$.

Valeurs du coefficient de décrochage. — En considérant successivement les caractéristiques correspondant à chaque valeur de σ on peut tracer deux catégories de courbes qui donnent en fonction du coefficient de décrochage, la première les valeurs de $\frac{I_0}{I_1} \cos \varphi$ et la deuxième les valeurs du $\cos \varphi$.

Ce sont ces nombres que nous avons tracés figure 2.

Quand on se sera fixé une valeur de σ on choisira le coefficient de décrochage que l'on désire obtenir et on prendra les valeurs correspondantes de $\frac{I_0}{I} \cos \varphi$ et de $\cos \varphi$, ce qui permettra de déterminer les dimensions des moteurs.

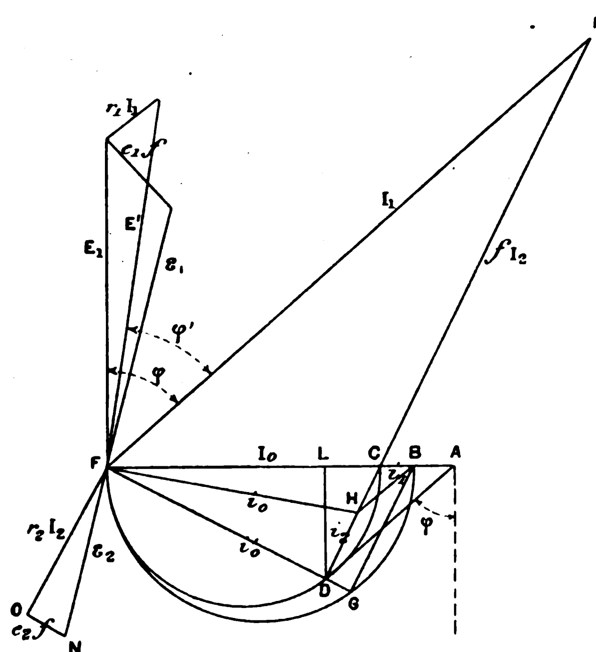


Fig. 3.

Corrections des courbes. — Dans tout ce qui précède, nous n'avons pas tenu compte de la résistance ohmique de l'inducteur, nous allons maintenant examiner comment on peut introduire cette quantité dans les résultats précédents.

Traçons (fig. 3) l'épure déjà considérée ; en réalité E_1 est la force électro-motrice disponible pour faire fonctionner le moteur ; mais c'est E' résultante de E_1 et de $r_1\, I_1$ qui est la différence de potentiel aux bornes ; donc quand dans les formules précédentes nous avons écrit que E_1 et E_1' pouvaient être confondus, nous avons commis une erreur et nous devrons la rectifier en remplaçant, dans les formules, E_1 par $E'_1 \frac{E_1}{E'}$, où E' est la force électromotrice aux bornes et $\frac{E_1}{E'}$ un rapport que nous allons calculer.

D'autre part, c'est $\cos \varphi$ angle de E_1 et de I_1 que nous avons calculé alors que c'est en réalité $\cos \varphi'$ angle de E' et de I_1 qu'il nous importait de trouver; car c'est celui-là que donnera le watt-mètre.

Nous allonc donc calculer $\frac{E_1}{E'}$ et $\cos \varphi'$ en fonction de E', différence de potentiel aux bornes que l'on connaît et de $\cos \varphi$, quantité que l'on a calculé.

On a immédiatement :

$$E_1 \cos \varphi + r_1 I_1 = E' \cos \varphi' \qquad \text{et} \qquad E_1 \sin \varphi = E' \sin \varphi'$$

d'où l'on tire :

$$\operatorname{tg} \varphi' = \frac{E_1 \sin \varphi}{E_1 \cos \varphi + r_1 I_1}$$

et

$$\cos \varphi' = \frac{E_1 \cos \varphi + r_1 I_1}{\sqrt{(E_1 \cos \varphi + r_1 I_1)^2 + E^2_1 \sin^2 \varphi}} \qquad \sin \varphi' = \frac{E_1 \sin \varphi}{\sqrt{(E_1 \cos \varphi + r_1 I_1)^2 + E^2_1 \sin^2 \varphi}}$$

On a aussi :

$$\frac{E_1}{E'} = \frac{\sin \varphi'}{\sin \varphi} = \frac{E_1}{\sqrt{(E_1 \cos \varphi + r_1 I_1)^2 + E_1^2 \sin^2 \varphi}}$$

définitivement les relations que nous cherchons, pourront s'écrire :

$$\cos \varphi' = \frac{\cos \varphi + \frac{r_1 I_1}{E_1}}{\sqrt{1 + \left(\frac{r_1 I_1}{E_1}\right)^2 + 2 \frac{r_1 I_1}{E_1} \cos \varphi}}$$

et

$$\frac{E_1}{E'} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{r_1 I_1}{E_1}\right)^2 + 2 \frac{r_1 I_1}{E_1} \cos \varphi}}$$

Nous avons dressé ci-contre le tableau I des valeurs de $\frac{E_1}{E'}$ et de $\cos \varphi'$ pour différentes valeurs de $\frac{r_1 I_1}{E_1}$ et de φ'.

On voit que les valeurs des corrections à faire sont peu élevées, à moins que l'on ait un grand pourcentage de perte dans l'inducteur et un mauvais $\cos \varphi$.

Il n'y a d'ailleurs pas de correction à apporter aux valeurs de $\frac{I_1}{I_0}$ et de $\frac{I_2}{I_0}$ qui sont des rapports de lignes ; car l'épure reste semblable à elle-même ; tous ces éléments sont seulement multipliés par $\frac{E_1}{E'}$

Quand aux autres éléments précédemment déterminés, il n'y aura pas lieu non plus de tenir compte de ce coefficient qui est toujours très voisin de 1 pour tous les moteurs courants comme on peut le voir par l'examen du tableau I.

Tableau I

$\frac{rI_1}{E_1} =$		$\cos \varphi =$ 0,90	0,80	0,70	0,60
0,01	$\frac{E_1}{E'} =$	0,99	»	»	0,995
	$\cos \varphi' =$	0,90	»	»	0,61
0,02	$\frac{E_1}{E'} =$	0,98	»	»	0,985
	$\cos \varphi' =$	0,90	»	»	0,61
0,04	$\frac{E_1}{E'} =$	0,965	»	»	0,975
	$\cos \varphi' =$	0,91	»	»	0,625
0,06	$\frac{E_1}{E'} =$	0,95	0,955	0,955	0,96
	$\cos \varphi' =$	0,91	0,82	0,725	0,63
0,08	$\frac{E_1}{E'} =$	0,93	0,94	0,945	0,95
	$\cos \varphi' =$	0,91	0,825	0,72	0,645
0,10	$\frac{E_1}{E'} =$	0,92	0,925	0,935	0,945
	$\cos \varphi' =$	0,92	0,83	0,75	0,66

Il sera néanmoins intéressant dans certains cas de substituer $\cos \varphi'$ à $\cos \varphi$, surtout dans les petits moteurs ; car la résistance ohmique de l'inducteur a pour effet de relever assez sensiblement le coefficient de décalage.

Calcul des coefficients de fuite. — On peut considérer deux espèces de fuites :

a) Flux se formant autour des dents. — Considérons (fig. 4) un moteur dont l'entrefer est δ_3 et dont les dents sont caractérisées au point de vue des fuites par δ_1, λ_1, δ_2, λ_2, pour

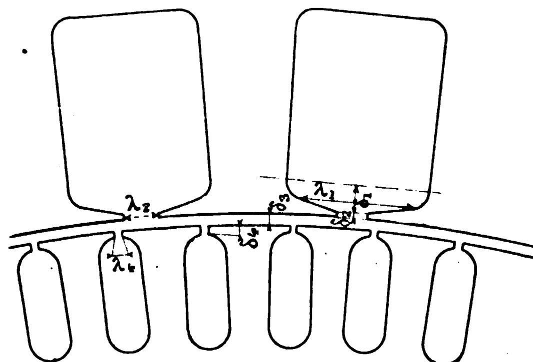


Fig 4.

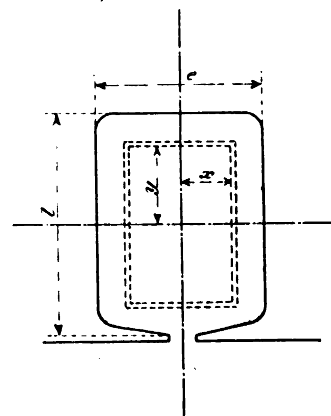


Fig. 5.

l'inducteur et δ_4, λ_4 pour l'induit ; le flux se fermant autour d'une dent de l'inducteur et sur un centimètre de longueur pourra s'écrire approximativement :

$$f = \frac{0{,}4\pi NI}{n}\left(\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2 + \delta_3}{\lambda_2} + \frac{\delta_4}{\lambda_4}\right)$$

n étant le nombre total de dents de l'inducteur, la force électro-motrice développée sera :

$$\frac{2\pi}{T}\,\frac{N}{n}\,.\,f = 0{,}8\pi^2\Omega\,\frac{N^2 I}{n^2}\left(\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2 + \delta_3}{\lambda_2} + \frac{\delta_4}{\lambda_4}\right)$$

La force électro-motrice totale pour n dents et pour une largeur L pourra s'écrire :

$$\varepsilon_f\, q_1 = 8L\,\frac{\Omega N^2 I}{n}\left(\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2 + \delta_3}{\lambda_2} + \frac{\delta_4}{\lambda_4}\right)$$

b) Calcul des fuites à l'intérieur des dents. — Il y a également un certain flux qui se formera dans la dent même, autour des fils qu'elle contient.

Considérons (fig. 5) une dent de largeur e et de hauteur l et soit $d\Phi$ le flux passant dans une petite tranche d'épaisseur dx sur les côtés x et d'épaisseur dy suivant les côtés y, le nombre d'ampères conducteurs contenus dans la dent est $\frac{NI}{n}$, n étant le nombre total de dents, on aura donc :

$$0{,}4\pi\,\frac{NI}{n}\,\frac{4xy}{el} = d\Phi\left[\frac{4x}{dx} + \frac{4y}{dy}\right]$$

avec la condition

$$\frac{x}{y} = \frac{e}{l}$$

d'où l'on tire :

$$dy = \frac{l}{e}\,dx \quad \text{et} \quad y = \frac{l}{e}\,x$$

en remplaçant, on a :

$$0{,}4\pi\,\frac{NI}{n}\,.\,\frac{4x^2}{e^2} = d\Phi\,\frac{8x}{dx}$$

donc

$$d\Phi = 0{,}2\pi \frac{NI}{ne^2} x dx$$

il faut prendre

$$\int_{\frac{e}{2}}^{x} d\Phi = \frac{0{,}2\pi NI}{ne^2}\left(\frac{e^2}{8} - \frac{x^2}{2}\right),$$

ce flux agit sur un nombre de conducteurs égal à

$$\frac{N}{n}\,\frac{4xdx + 4ydy}{el}$$

ou bien sur

$$\frac{4N}{n}\,\frac{e^2+l^2}{e^3 l}\,x dx,$$

la force électro-motrice développée sera :

$$de = 2\pi\Omega\,\frac{0{,}2\pi NI}{ne^2}\left(\frac{e^2}{2} - \frac{x^2}{2}\right)\frac{4N}{n}\,\frac{e^2+l^2}{e^3 l}\,x dx,$$

ce qui se réduit à

$$de = 15{,}6\,\frac{e^2+l^2}{e^5 l}\,\Omega\,\frac{N^2 I}{n}\left(\frac{e^2}{8}\,x dx - \frac{x^3}{2}\,dx\right).$$

Pour avoir la force électro-motrice totale développée par centimètre de longueur de dent il faudra prendre :

$$\int_{x=0}^{x=\frac{e}{2}} de = 15{,}6\,\frac{e^2+l^2}{el}\,\frac{N^2 I}{n^2}\,\Omega\,\frac{1}{128} = 0{,}123\,\frac{e^2+l^2}{el}\,\frac{N^2 I}{n^2}\,\Omega\,.$$

Cette formule devra être appliquée non seulement aux conducteurs logés dans les dents, mais encore à la partie extérieure à ces dents.

Si nous désignons par λ la longueur totale d'une spire, on pourra poser :

$$\lambda = a'L + b'\,\frac{D}{p}$$

la force électro-motrice totale, provenant du flux se formant à l'intérieur du paquet de fil, sera en volts :

$$\varepsilon'_f = 0{,}123\left(a'L_1 + b'\,\frac{D}{p}\right)\frac{e^2+l^2}{el}\,\frac{N^2 I}{n}\,\Omega \times 10^{-8}.$$

c) Dans ces conditions, la force électro-motrice totale de fuite pour le passage de flux dans l'air et autour des fils sera pour l'inducteur :

$$\varepsilon_f q_1 + \varepsilon'_f q_1 = 10^{-8}\,\frac{\Omega N^2 I}{n}\left[8L\left(\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2+\delta_3}{\lambda_2} + \frac{\delta_4}{\lambda_4}\right) + 0{,}123\left(a'L + b'\,\frac{D}{p}\right)\frac{e^2+l^2}{el}\right].$$

D'autre part on a pour la force électro-motrice aux bornes de l'inducteur la formule

$$Eq_1 = \frac{2\Omega N^2 I_0}{pR}\,k_1 K_1 \times 10^{-8}$$

et le coefficient de fuite de l'inducteur pourra s'écrire :

$$\alpha = \frac{\varepsilon_f q_1 + \varepsilon'_f q_1}{Eq_1} = \frac{1}{2k_1 K_1}\,\frac{I_1}{I_0}\,\frac{pR}{n}\left[8L\left(\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2+\delta_3}{\lambda_2} + \frac{\delta_4}{\lambda_4}\right) + 0{,}123\left(a'L + b'\,\frac{D}{p}\right)\frac{e^2+l^2}{el}\right].$$

Le deuxième terme de la parenthèse est négligeable vis-à-vis du premier, donc si on remplace R par sa valeur

$$\frac{4p}{\pi DL}\left(a\delta + \frac{1}{\mu}\frac{\pi D}{p}\frac{B_n}{B_e}\right)$$

en prenant $\mu = 2000$ et $\frac{Bn}{Be} = 3$, on aura :

$$\alpha = \frac{10}{2k_1 K_1}\frac{I_1}{I_0}\frac{p^2}{nD}\left(a\delta + 0{,}0022\frac{D}{p}\right)\left(\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2 + \delta_3}{\lambda_2} + \frac{\delta_4}{\lambda_4}\right).$$

Pour l'induit, on aurait une formule tout à fait analogue

$$\beta = \frac{10}{2k_2 K_2}\frac{I_2}{I_0}\frac{p^2}{n'D}\left(a\delta + 0{,}0022\frac{D}{p}\right)\left(\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2 + \delta_3}{\lambda_2} + \frac{\delta_4}{\lambda_4}\right)$$

où n' désigne le nombre de dents de l'induit.

En réalité ces formules ne donneront jamais un résultat bien exact, d'abord parce que nous n'avons pu établir qu'approximativement la valeur du flux qui se forme autour des dents, deuxièmement parce que les valeurs δ_1, λ_1, δ_2, λ_2, δ_3, δ_4, λ_4 du rapport desquelles dépend la valeur de α et de β sont tellement petites en valeur absolue que bien souvent elles n'auront pas effectivement les grandeurs prévues sur les dessins.

Néanmoins la formule ci-dessus peut donner lieu à un certain nombre d'observations intéressantes.

1° On voit que les valeurs de α et de β sont inversement proportionnelles respectivement aux produits $k_1 k_1$ et $k_2 k_2$, par conséquent, toutes choses égales d'ailleurs, un moteur triphasé sera meilleur, au point de vue des fuites, qu'un moteur diphasé ; celui-ci sera lui-même meilleur qu'un moteur monophasé.

Pour s'en convaincre il suffira de consulter le tableau ci-après qui donne les valeurs de k et de K ;

2° Les valeurs de α et de β sont inversement proportionnelles à $\frac{n}{p}$ il semblerait donc qu'il y aurait intérêt à augmenter le nombre de dents, mais comme d'autre part α et β sont proportionnelles à $a\delta$ cet avantage serait purement fictif, car en augmentant n ou n' on augmente le nombre des ouvertures λ_2 ou λ_4, par conséquent on augmente a coefficient dont il faut affecter la valeur de l'entrefer. En effet a peut se mettre dans la forme :

$$a = \frac{\pi D + n\lambda_2 + n'\lambda_4}{\pi D}$$

3° Les valeurs de α et de β sont inversement proportionnelles à $\frac{D}{p}$, par conséquent il y aurait intérêt, à ce point de vue, à augmenter le diamètre, mais on verra par la suite que celui-ci est déterminé par d'autres considérations ;

4° Les valeurs de α et de β sont proportionnelles à $\frac{I}{I_0}$, par conséquent il y a intérêt à prendre ce rapport aussi petit que possible. Nous verrons par la suite que cette condition est également imposée par la condition d'avoir un grand coefficient de décrochage ;

5° Les valeurs de α et de β dépendent de δ_1, δ_2, δ_3, δ_4, λ_1, λ_2, λ_4.

En définitif pour réduire la valeur de $\alpha + \beta$ il faut :

a) Prendre une valeur de $\frac{I}{I_0}$ aussi petite que possible c'est-à-dire augmenter le courant d'excitation par rapport au courant total.

b) Réduire la valeur de δ c'est-à-dire de l'entrefer.

c) Réduire au minimum les valeurs de δ_1, δ_2, δ_4.

Calcul du moteur le plus économique. — Nous n'avons trouvé jusqu'ici qu'une seule relation liant L et D nous allons en chercher une deuxième en nous imposant la condition de réaliser le moteur le plus économique.

Soit λ la longueur d'une spire, y compris la partie contenue dans la dent et la partie extérieure : on pourra écrire $\lambda = a'L + b' \frac{D}{p}$.

D'autre part si V désigne le volume du cuivre et S la section du fil on aurait

$$V = Ns\lambda \quad sd = I \text{ donc } V = \frac{NI\lambda}{d}$$

ou d désigne la densité du courant dans le conducteur.

On a également

$$rI^2 = \frac{20 \times N\lambda \times 10^{-7}}{s} \times I^2 = \gamma_1,$$

γ_1 désignant la perte en watts dans l'inducteur. Donc :

$$\gamma_1 = 20 \times 10^{-7} NI\lambda \frac{I}{s} = 20 \times 10^{-7} NI\lambda d$$

donc

$$d = \frac{\gamma_1}{20 \times 10^{-7} NI\lambda}$$

en remplaçant dans la valeur de V on a

$$V = 20 \times 10^{-7} N^2 I^2 \lambda^2 \frac{1}{\gamma_1}.$$

On pourra également prendre pour l'induit

$$V' = 20 \times 10^{-7} N^2 I^2 \lambda^2 \frac{1}{\gamma_1'}$$

d'où on tire

$$V + V' = 20 \times 10^{-7} N^2 I^2 \lambda^2 \left(\frac{1}{\gamma_1} + \frac{1}{\gamma_1'}\right),$$

ce volume étant exprimé en centimètres cubes. En remplaçant λ par sa valeur et NI par $\gamma\pi D$ on aura pour valeur de $V + V'$

$$V + V' = 20 \times 10^{-7} \pi^2 \gamma^2 D^2 \left(a'L + b' \frac{D}{p}\right)^2 \left(\frac{1}{\gamma_1} + \frac{1}{\gamma_1'}\right)$$

et pour valeur du poids en kilogrammes

$$\Pi = \frac{9{,}5}{10^3} \times 20 \times 10^{-7} \pi^2 \gamma^2 \Pi^2 \left(a'L + b' \frac{D}{p}\right)^2 \left(\frac{1}{\gamma_1} + \frac{1}{\gamma_1'}\right).$$

Pour le volume des tôles nous avons trouvé précédemment

$$2\pi DLH = \frac{0{,}45 \times 10^8}{k_1 \Omega B_n \cos\varphi} \cdot \frac{D}{\frac{NI}{\pi D}} = \frac{0{,}45 \times 10^8}{k_1 \Omega B_n \cos\varphi} \cdot \frac{P}{\gamma}.$$

Le poids des tôles en kilogrammes sera donné par

$$\Pi' = \frac{0{,}45 \times 8 \times 10^5}{k_1 \Omega B_n \cos\varphi} \cdot \frac{D}{\gamma}$$

....

on peut remarquer que cette quantité est indépendante de D et de L donc pour une puissance et une valeur déterminée de γ le poids des tôles restera constant et le moteur le plus économique sera celui qui aura le plus petit poids de cuivre ; il faut donc rendre Π minimum. Remarquons qu'on a trouvé précédemment

$$L = \frac{P \times p^2 \left(a\delta + \frac{1}{\mu} \frac{\pi D}{2p} \frac{B_n}{B_e}\right) 10^8}{1,55\, k_1 K_1 \Omega \frac{I_0}{I} \cos\varphi\, N^2 I^2 D}$$

ou en remplaçant ω par 2 000, $\frac{B_n}{B_e}$ par 3 et NI par $\gamma\pi D$, on a

$$L = \frac{P \times p^2\left(a\delta + 0{,}0022 \frac{D}{p}\right) \times 10^8}{15{,}5\, k_1 K_1 \Omega \frac{I_0}{I} \cos\varphi\, \gamma^2 D^3}$$

ou en remplaçant dans la valeur de Π

$$\Pi = \frac{180\left(\frac{1}{\tau_1} + \frac{1}{\tau_1'}\right)\gamma^2}{10^9} \left[a' \frac{P \times p^2\left(a\delta + 0{,}0022 \frac{D}{p}\right) 10^8}{15.5\, k_1 K_1 \Omega \frac{I_0}{I} \cos\varphi\, \gamma^2 D^2} + b' \frac{D^2}{p} \right]^2$$

Pour rendre le poids du cuivre minimum il suffira d'annuler la dérivée de la quantité entre parenthèses et on aura

$$-\frac{2\, a'P \times p^2 a\delta \times 10^8}{15{,}5\, k_1 K_1 \Omega \frac{I_0}{I} \cos\varphi\, \gamma^2 D^3} - \frac{a'P \times p^2 \times 0{,}0022 \times 10^8}{15{,}5\, k_1 K_1 \Omega \frac{I_0}{I} \cos\varphi\, \gamma^2 p D^2} + 2b' \frac{D}{p} = 0,$$

d'où l'on tire

$$D^4 = \frac{a'P \times p^2 \times 10^8 (a\delta p + 0{,}0011 D)}{15{,}5\, k_1 K_1 b' \Omega \frac{I_0}{I} \cos\varphi\, \gamma^2}$$

nous avions trouvé d'autre part

$$LD^3 = \frac{P \times p^2 \left(a\delta + 0{,}0022 \frac{D}{p}\right) 10^8}{15{,}5\, k_1 K_1 \Omega \frac{I_0}{I} \cos\varphi\, \gamma^2}$$

en divisant les deux expressions l'une par l'autre on trouve

$$\frac{L}{D} = \frac{b'}{a'p} \frac{a\delta + 0{,}0022 \frac{D}{p}}{a\delta + 0.0011 \frac{D}{p}}$$

ou très approximativement

$$\frac{L}{D} = \frac{b'}{a'p}.$$

On peut donc calculer les valeurs de L et de D rendant le poids du cuivre minimum, c'est-à-dire le poids total utile minimum pour une valeur donnée de γ.

Si d'autre part on remplace L par $\frac{b'}{a'p}$ D dans la valeur de Π on trouve

$$\Pi = \frac{180}{10^9} \gamma^2 D^4 \frac{b'^2}{p^2}\left(\frac{1}{\tau_1} + \frac{1}{\tau_1}\right)$$

comme D^4 varie en raison inverse de γ^2, Π est indépendant de γ.

Donc quand γ variera le poids de cuivre restera constant, mais le poids de fer sera inversement proportionnel à cette valeur. Il faudra donc faire γ aussi grand que possible tout en déterminant D^1 et $\frac{L}{D}$ par les équations ci-dessus.

Nous avons calculé a' et b' pour un grand nombre de moteurs exécutés et nous avons trouvé que à 2 ou 3 p. 100 près, en plus ou en moins, le rapport $\frac{b'}{a'}$ restait constant et était égal à 1,82. On aura donc les formules simples qui serviront à la détermination de tous les moteurs.

$$D^1 = 0{,}0355 \, \frac{P \times p^2 (a\delta p + 0{,}0011 \, D)}{k_1 K_1 \Omega \frac{I_0}{I} \cos \varphi \, \gamma^2}$$

$$\frac{L}{D} = \frac{1{,}82}{p} \, \frac{a\delta + 0{,}0022 \frac{D}{p}}{a\delta + 0{,}0011 \frac{D}{p}}$$

ou très approximativement

$$\frac{L}{D} = \frac{1{,}9}{p}$$

$$H = \frac{0{,}35 \, K_1 \frac{I_0}{I} \gamma \, D^2}{B_u p^2 \left(a\delta + 0{,}0022 \frac{D}{p} \right)}.$$

Les valeurs de k et de K seront extraites du tableau II ci-contre, mais on peut remarquer que pour les moteurs triphasés on pourra prendre

$$k_1 K_1 = 0{,}375 \qquad K_1 = 0{,}39,$$

pour moteurs diphasés

$$k_1 K_1 = 0{,}335 \qquad K_1 = 0{,}37\,;$$

quant aux moteurs monophasés les coefficients sont trop variables pour que l'on puisse prendre une valeur moyenne, il faudra les choisir pour chaque cas particulier.

Tableau II

Nombre d'encoches par champ.	K			K		
	Triphasé	Diphasé	Monophasé	Triphasé	Diphasé	Monophasé
2			0,405			1,000
4		0,405	0,285		1,000	0,707
6	0,405		0,270	1,000		0,666
8		0,374	0,265		0,924	0,653
10			0,262			0,647
12	0,391	0,369	0,261	0,966	0,940	0,643
14			0,260			0,642
16		0,367	0,260		0,906	0,641
18	0,389		0,259	0,960		0,640
20		0,366	0,259		0,903	0,639
24	0,388	0,365	0,258	0,958	0,903	0,638
∞	0,386	0,365	0,258	0,953	0,900	0,637

Il y a encore une autre remarque intéressante à faire au sujet de ces équations, c'est

qu'on peut mettre l'expression du diamètre et de la longueur sous la forme :

$$\left(\frac{\pi D}{p}\right)^4 = \frac{3,55}{k_1 K_1} \frac{1}{\Omega \frac{I_0}{I} \cos\varphi} \cdot \frac{P}{p} \frac{a\delta + 0,0011 \frac{D}{p}}{\gamma^2}$$

et

$$L = \frac{1,9}{\pi} \cdot \frac{\pi D}{p}.$$

C'est donc véritablement les dimensions d'un pôle que l'on calcule, ce pôle étant destiné à utiliser une quantité de travail $\frac{P}{p}$ et, une fois que l'on s'est fixé $\frac{I_0}{I}\cos\varphi$ correspondant à un σ et à un coefficient de décrochage déterminé, ses dimensions ne dépendent plus que de $a\delta$ et de γ.

On peut en général se fixer $a\delta + 0,0011 \frac{D}{p} = 0,15$ à $0,16$, quitte, quand le moteur est tracé et que a est connu, à déterminer δ pour que cette condition soit réalisée. On aura alors immédiatement $\frac{\pi D}{p}$ en fonction de γ.

Comme complément à ce qui précède nous allons traiter les problèmes relatifs au démarrage des moteurs.

Détermination du couple au démarrage. — Dans le cas où le moteur démarre sans rhéostat, il faut tenir compte de la résistance de l'inducteur, car celle-ci est comparable à celle de l'induit.

Supposons d'abord que la résistance de l'inducteur soit négligeable, si l'on appelle E_1 le voltage, aux bornes on aura au moment du démarrage

$$\frac{r_2 q_2 I_2^2 \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2}{E'_1 q_1 I_1 \cos\varphi} = 1$$

posons en moyenne d'après les résultats des courbes $I_2 = 0,9\, I_1$, on tire alors de l'équation ci-dessus

$$\frac{I_1}{I_0 \cos\varphi} = \frac{\frac{E' q_1}{I_0}}{0,81\, r_2 q_2 \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2}$$

il suffira donc de chercher sur la courbe le point pour lequel $\frac{I_1}{I_0 \cos\varphi}$ a la valeur indiquée et prendre l'ordonnée correspondante de la courbe II (fig. I).

Remarquons que cette courbe donne la valeur de $\frac{I_1}{I_0}\cos\varphi$ et que la valeur maximum de $\frac{I}{{}_0 I}\cos\varphi$ que peut fournir le moteur est donnée par

$$\frac{I}{I_0}\cos\varphi = \frac{1}{2\sigma}.$$

Si nous appelons y_1 l'ordonnée maximum de la courbe et y_2 l'ordonnée correspondante à la valeur de $\frac{I}{I_0 \cos\varphi}$ trouvée plus haut, on aurait, en appelant C_D le couple au démarrage et C_{max} le couple normal

$$\frac{C_D}{C_{max}} = \frac{y_2}{y_1} = 2\sigma y_2$$

étant entendu que C_{max} est le couple correspondant au travail maximum représenté par $\frac{E_1 I_0 q}{27}$.

On pourrait donc calculer ainsi le couple au démarrage si la résistance de l'inducteur était négligeable, c'est-à-dire si $E'_1 q_1$ tension aux bornes était bien la tension utile pour le fonctionnement, mais il n'en est pas ainsi, car si $E' q_1$ est le voltage utile, il faudra mettre aux bornes une tension $E'' q_1$ telle que

$$E''^2 = E'^2_1 + r^2_1 I^2_1 + 2 E' r_1 I_1 \cos \varphi$$

d'où

$$\frac{E''}{E'_1} = \sqrt{1 + \frac{r^2 I^2_1}{E_1''} + 2 \frac{r_1 I_1}{E'_1} \cos \varphi}\,.$$

Il en résulte que pour faire passer dans le moteur l'intensité I_1 et obtenir le couple au démarrage précédemment trouvé, il faudrait augmenter le voltage prévu dans le rapport $\frac{E_1''}{E_1'}$ que nous savons calculer, puisque nous avons relevé sur l'épure la valeur de I et celle de $\cos \varphi$ et que E_1 représente provisoirement dans notre première hypothèse le voltage que l'on s'est donné pour le fonctionnement du moteur.

On arriverait à ce résultat que si l'on avait calculé le couple de démarrage d'un moteur connu pour 100 volts sans tenir compte de la résistance de l'inducteur il faudrait pratiquement mettre par exemple 120 volts à ses bornes pour obtenir ce couple et faire circuler l'intensité I_1 relevée sur les courbes.

Mais l'on peut remarquer que si on multiplie toutes les lignes de l'épure (fig. 3) par un coefficient, celle-ci reste semblable à elle-même. En particulier si ce coefficient est

$$\frac{1}{\sqrt{1 + \frac{r_1^2 I^2_1}{E_n} + 2 \frac{r_1 I_1}{E'_1} \cos \varphi}}\,.$$

L'intensité que nous avions précédemment relevée va devenir égale à

$$\frac{I_1}{\sqrt{1 + \frac{r^2_1 I^2_1}{E_1'^2} + 2 \frac{r_1 I_1}{E_1'} \cos \varphi}} \quad \text{et le voltage aux bornes} \quad \frac{E''}{\sqrt{1 + \frac{r^2_1 I_1^2}{E_1'^2} + 2 \frac{r_1 I_1}{E_1} \cos \varphi}} = E_1'$$

C'est-à-dire que tout sera ramené aux conditions prévues au début.

Le couple qui dépend du produit du voltage par le courant d'excitation sera multiplié par le carré du rapport de réduction. Si nous désignons toujours par C_{max} le couple correspondant à la valeur $\frac{I}{I_0} \cos \varphi = \frac{1}{27}$ on aura, en désignant par C_D le couple effectif de démarrage

$$\frac{C_D}{C_{max}} = \frac{27 y_2}{1 + \frac{r_1^2 I^2_1}{E'^2} + \frac{r_1 I_1}{E'} \cos \varphi}$$

où les quantités I_1 et $\cos \varphi$ sont celles relevées sur la courbe II et correspondant à l'ordonnée y_2, E_1' désignant toujours la tension effective aux bornes.

Calcul d'un rhéostat de démarrage. — Supposons qu'on veuille calculer un rhéostat de démarrage pour un moteur connu.

La connaissance des dimensions de ce moteur nous permettra de déterminer sur la courbe correspondante le point où il fonctionne à son régime normal. Soit y_2 l'ordonnée

correspondante à ce régime sur la courbe IV des glissements et soit y_1 l'ordonnée que nous ne voulons pas dépasser pendant le démarrage.

Au premier plot le glissement est égal à 1, on aura donc

$$g_1 = Z_1 y_1 = 1$$

donc

$$Z_1 = \frac{1}{y_1}$$

ce qui déterminera une première valeur de la résistance à intercaler en posant

$$\frac{q_2 r_2 \frac{N_1^2}{N_2^2} I_0}{E_1 q_1} = \frac{1}{y_1}$$

avec la résistance $q_2 r_2$ ainsi intercalée, le moteur se met en route et atteint le régime caractérisé par y_2 correspondant au couple normal, à ce moment le glissement sera déterminée par

$$g_2 = Z_1 y_2 = \frac{y_2}{y_1}.$$

Il s'agit maintenant de diminuer la résistance intercalée pour remonter à la valeur des couples correspondant à y_1 ; on aura de ce fait

$$g_3 = Z_2 y_2 = \frac{y_2^2}{y^2}$$

donc

$$g_2 = Z_2 y_1 \text{ donc } K_2 = \frac{g_2}{y_1} = \frac{y_2}{y_1^2}.$$

Le moteur prendra une nouvelle accélération et prendra un nouveau glissement g_3 correspondant à son régime normal caractérisé par y_2 et on aura

$$g_1 = 1 \qquad K_1 = \frac{1}{y_1}$$

et ainsi de suite. L'on aura successivement

$$g_2 = \frac{y_2}{y_1} \qquad Z_2 = \frac{1}{y_1}\left(\frac{y_2}{y_1}\right)$$

$$g_3 = \left(\frac{y_2}{y_1}\right)^2 \qquad Z_3 = \frac{1}{y_1}\left(\frac{y_2}{y_1}\right)^2$$

$$g_4 = \left(\frac{y_2}{y_1}\right)^3 \qquad Z_4 = \frac{1}{y_1}\left(\frac{y_2}{y_1}\right)^3$$

La valeur de la résistance à intercaler sur le plot de rang n sera représentée en général par

$$\frac{g_2 r_2 \frac{N_1^2}{N_2^2} I_0}{E_1 q_1} = Z_n = \frac{1}{y_1}\left(\frac{y_2}{y_1}\right)^{n-1}$$

et le glissement que le moteur pourra acquérir à ce moment sera :

$$g_{n+1} = \frac{1}{y_1}\left(\frac{y_2}{y_1}\right)^n$$

Détermination d'un rhéostat de réglage. — Dans le cas où l'on voudrait déterminer un

rhéostat permettant d'obtenir des vitesses progressives il suffira de calculer les valeurs de la constante K correspondant à

$$g = ky_2$$

pour les différents glissements que nous voulons obtenir on aura ainsi les valeurs des résistances à intercaler sur chaque plot du rhéostat.

(*A suivre.*)

George GILES.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

GÉNÉRATION ET DISTRIBUTION

Formule générale du rendement des machines à vapeur, par **J. Nadal,** ingénieur au corps des Mines. *Revue de Mécanique*, t. VI, p. 141-167 et p. 269-285, 28 février et 31 mars 1900.

Dans ce long mémoire l'auteur montre comment on doit déterminer les valeurs des diverses quantités qui entrent dans l'expression du rendement des machines à vapeur; nous nous proposons d'en indiquer les principaux points en renvoyant au mémoire original pour les détails.

I. Définition du rendement. — L'auteur rappelle la définition du *rendement thermique* d'une machine à vapeur: c'est le rapport entre la quantité de chaleur utilisée et la quantité totale de chaleur fournie. La première quantité se déduit du diagramme des pressions et est mesurée par le produit $A\mathcal{T}$ du travail $\mathcal{T}$ indiqué par ce diagramme et l'inverse A de l'équivalent mécanique de la chaleur. En désignant par Q la quantité totale de chaleur fournie, l'expresssion du rendement thermique est

$$\rho = \frac{A\mathcal{T}}{Q}$$

Au lieu du rendement thermique on emploie parfois, pour différencier les moteurs à vapeur, la *dépense de calories par cheval-heure indiqué*; il est évident que la considération de cette quantité est aussi acceptable que celle du rendement thermique qui s'en déduit immédiatement. Mais souvent on considère la *dépense d'eau ou de vapeur par cheval-heure indiqué;* or cet élément n'a en lui-même aucune valeur scientifique, puisqu'il dépend de la température de l'eau d'alimentation et de la température de régime de la chaudière, températures qui généralement ne sont pas données.

La considération du rendement thermique ou de la dépense de calories par cheval-heure indiqué ne donne d'ailleurs pas un enseignement complet au point de vue du fonctionnement d'un moteur à vapeur, car par le fait même de la transformation de la chaleur en travail le rendement thermique est de beaucoup inférieur à l'unité. On doit donc se demander quelle valeur maximum peut prendre ce rendement dans une machine parfaite. Mais comme machine parfaite doit-on considérer une machine fonctionnant suivant un cycle de Carnot, qui est absolument irréalisable en pratique, ou une machine fonctionnant suivant le cycle indiqué plus récemment par Rankine [1]? M. Nadal préfère prendre ce dernier cycle comme terme de comparaison et il appelle *degré d'utilisation d'une machine réelle*, le rapport du rendement thermique de cette machine au rendement thermique du cycle de Rankine. Il a d'ailleurs calculé ce dernier rende-

[1] Ce cycle suppose un fonctionnement sans pertes dues à la condensation initiale, aux fentes, à la radiation, à la conduction, et sans espace nuisible. On produit, à pression constante, de la vapeur saturée sèche ou de la vapeur surchauffée. La vapeur est introduite dans le cylindre et effectue sur le piston un travail égal au produit de la pression constante par le volume engendré pendant l'admission. Puis la vapeur se détend adiabatiquement jusqu'à la contre-pression de marche de la machine. Ensuite la vapeur est évacuée à la pression constante d'échappement et le travail effectué pour l'évacuation est égal au produit du volume du cylindre par la contre-pression. Voir à ce sujet, l'article de M. Pellissier. Sur le rendement thermique des moteurs à vapeur, publié dans *L'Éclairage Électrique* du 3 décembre 1898, t. XVII, p. 394.

ment pour le cas où on emploie de la vapeur saturée sèche en suivant le mode de calcul qu'il préconise par le calcul du rendement d'une machine réelle ; les résultats de ces calculs sont indiqués dans les tableaux I et II qui se rapportent, le premier à une machine à condenseur avec contrepression de 0,2 kg. cm², le second à une machine sans condenseur [1].

TABLEAU I. — *Machine suivant le cycle de Rankine, avec condenseur.*

PRESSION ABSOLUE de régime	RAPPORT de détente complète	DÉPENSE de vapeur sèche par chev-h.	DÉPENSE DE CALORIES par cheval-heure		RENDEMENT THERMIQUE		RENDEMENT thermique du cycle de Carnot
			En supposant l'eau d'alimentation à 15°	En supposant l'eau d'alimentation à la température du condenseur	En supposant l'eau d'alimentation à 15°	En supposant l'eau d'alimentation à la température du condenseur	
kg		kg					
6	20,014	5,0747	3 246,2	3 018,4	0,1957	0,21047	0,22785
10	31,39	4,3964	2 840,3	2 643	0,22367	0,24036	0,26353
15	44,867	3,981	2 594,2	2 415,5	0,24489	0,263	0,29238
20	57,81	3,7145	2 436,6	2 269,9	0,26073	0,27988	0,31298
28	77,757	3,4521	2 283,1	2 128,2	0,27825	0,29851	0,33731

TABLEAU II. — *Machine suivant le cycle de Rankine sans condenseur.*

PRESSION absolue de régime	RAPPORT de détente complète	DÉPENSE de vapeur sèche par cheval-heure	DÉPENSE DE CALORIES par cheval-heure avec eau d'alimentation à 15°	RENDEMENT THERMIQUE avec eau d'alimentation à 15°	RENDEMENT THERMIQUE du cycle de Carnot
kg		kg			
6	4,8479	8,7966	5 627	0,1129	0,13445
10	7,6033	6,8274	4 410,9	0,14403	0,17456
15	10,868	5,8058	3 783,4	0,16792	0,20679
20	14,002	5,2262	3 428,2	0,18532	0,22988
28	18,834	4,6885	3 100,9	0,20488	0,25715

II. TRAVAIL INDIQUÉ. — Pour évaluer le travail indiqué, il faut connaître les courbes de pression de la vapeur dans le cylindre dans les conditions réelles de la marche, c'est-à-dire en tenant compte du laminage et des condensations sur les parois.

Courbes d'admission. — Pendant une fraction de la durée de l'admission, fraction qui dépend de la nature du distributeur de la machine, la pression conserve une valeur sensiblement constante p_o, appelée pression de régime et que l'on peut, en général, regarder comme étant égale à la pression dans la chapelle. Pendant la dernière partie de l'admission, la pression diminue, principalement à cause du laminage de la vapeur, et prend à la fin de l'admission une certaine valeur p_a.

Si l'on pose $p_o - p_a = \alpha\, p_o$, α est le coefficient de laminage. Ce coefficient peut *être déterminé* théoriquement lorsqu'on connaît la courbe de marche du distributeur [2] ; on peut aussi le déterminer pratiquement en étudiant les diagrammes d'indicateur. Sa valeur est sensiblement indépendante de la pression de régime p_o ;

[1] Ces tableaux montrent que l'avantage des hautes pressions est plus marqué dans le fonctionnement sans condenseur que dans le fonctionnement avec condenseur. Ainsi dans le premier cas, en passant de 6 à 10 kg : cm², il y a une économie (en calories dépensées avec eau d'alimentation à 15°) de 21,6 p. 100 par rapport à la pression de 6 kg : cm² : de 10 à 15 kg : cm² l'économie s'élève à 14,2 p. 100 ; de 15 à 20 kg : cm² à 9,39 p. 100. Dans le second cas les économies réalisées par les mêmes variations de pression sont respectivement : 12,5 p. 100 ; 8,66 p. 100 ; et 5,075 p. 100.

[2] *Annales des mines*, juin 1893. Étude théorique du rendement de la machine à vapeur.

dans les machines avec distributeur à déclic, elle est en outre indépendante de la durée totale de l'admission et ne dépend que de la vitesse : 0,05 pour une vitesse de 60 t : m et 0,10 environ pour une vitesse de 120 t : m ; dans le cas des distributions sans déclic, elle varie sensiblement en raison inverse du degré d'admission et en raison directe de la vitesse, mais elle dépend beaucoup aussi de la nature du distributeur et est généralement plus grande que dans le cas des distributions à déclic.

En supposant que la courbe d'admission est une ligne brisée formée par une horizontale, puis par une ligne inclinée (correspondant à la chute de pression) et en désignant par a la fraction de course, exprimée en centièmes, que parcourt le piston depuis le début jusqu'à la fin de l'admission, par a' la fraction de course correspondant à la chute de pression $p_0 - p_a$, enfin par V le volume engendré par le piston, on a pour le travail $\mathcal{T}_a$, pendant l'admission,

$$\frac{\mathcal{T}_a}{V} = (a - a')p_0 + a' \frac{p_0 + p_a}{2} \qquad (1)$$

Courbe de détente. — Par suite de la chaleur restituée par les parois du cylindre à la vapeur pendant la détente de celle-ci, la courbe de détente réelle se trouve au-dessus de l'adiabatique, l'écart allant en augmentant du commencement à la fin de la détente ; l'étude des diagrammes montre de plus qu'elle est située au-dessous de la courbe correspondant à une détente suivant la loi de Mariotte. On obtiendra donc une limite inférieure du travail accompli pendant la détente en supposant que celle-ci est adiabatique et une limite supérieure en admettant qu'elle s'effectue suivant la loi de Mariotte, dans la première hypothèse on a

$$p(x + \varepsilon)^{\mu} + p_a(a + \varepsilon)^{\mu},$$

où ε est le rapport du volume de l'espace nuisible au volume total engendré par le piston, et μ donné par la formule $\mu = 1,035 + 0,1\ m$ dans laquelle m est la proportion de vapeur sèche contenue dans le fluide à la fin de l'admission [1]. Dans la seconde hypothèse la relation entre la pression et le volume est

$$p(x + \varepsilon) = p_a(a + \varepsilon).$$

En calculant l'intégrale de pdx pris entre a et d, d étant la fraction de la course parcourue par le piston au moment où cesse la détente, on a pour le travail dans la première hypothèse,

$$\frac{\mathcal{T}_d}{V} = \frac{(a + \varepsilon)p_a}{\mu - 1}\left[1 - \left(\frac{1}{\lambda}\right)^{\mu - 1}\right], \qquad (2)$$

et dans la seconde,

$$\frac{\mathcal{T}'_d}{V} = (a + \varepsilon)p_a \text{ Log. } \lambda, \qquad (2\ bis)$$

λ, que l'on appelle rapport de détente, étant défini par $\lambda = \frac{d + \varepsilon}{a + \varepsilon}$ [1].

Courbe d'échappement anticipé. — En admettant que la détente s'effectue suivant la loi de Mariotte, la pression p_a à la fin de la détente est égale à $\frac{p_a}{\lambda}$; cette pression diminue ensuite jusqu'à la fin de la course d'aller où elle prend une valeur qui est en général supérieure de 0,25 à 0,50 kg : cm² à la pression d'échappement p_e. En supposant que la courbe d'échappement anticipé est une ligne droite, on a pour l'expression approchée du travail effectué pendant l'échappement anticipé,

$$\frac{\mathcal{T}'_e}{V} = \frac{\frac{p_a}{\lambda} + p_e + 0,25}{2}(1 - d). \qquad (3)$$

Courbe d'échappement. — En supposant encore que c'est une droite allant de la pression p_e à la pression p_c au début de la compression et en admettant de plus que la durée de la compression exprimée en centièmes de course est 0,1, on a

$$\frac{\mathcal{T}_e}{V} = p_e(e - 0,1) + \frac{p_e + p_c}{2} \times 0,1, \qquad (4)$$

[1] Le nombre m est connu puisqu'on sait calculer les condensations pendant l'admission. Remarquons que la courbe de détente la plus basse et donnant par suite lieu au moindre travail correspond à $m = 1$, c'est-à-dire à la vapeur sèche.

[1] Si la détente est courte, il y a peu de différence entre les limites données par ces formules. Mais lorsque la détente est longue (rapport de détente de 8 à 10), la différence entre $\mathcal{T}_d$ et $\mathcal{T}'_d$ peut s'élever à 10 p. 100. On remarquera que la restitution de la chaleur par les parois augmentant avec la durée de la détente, la courbe réelle est, dans le cas d'une longue détente, plus approchée de la courbe hyperbolique que de la courbe adiabatique. C'est donc en prenant dans tous les cas l'expression (2 *bis*) qu'on commettra la moindre erreur.

e désignant la durée totale de l'échappement proprement dit.

Les valeurs de p_e et de p_c dépendent nécessairement de la construction de la machine et des conditions de sa marche [1].

Courbes de compression. — Comme celle de détente, elle est ordinairement comprise entre la courbe adiabatique et celle de Mariotte ; c'est cette dernière qui donne la valeur la plus rapprochée du travail ; cette valeur est

$$\frac{\mathcal{C}_c}{V} = p_c (1 - e - \varepsilon) \text{ log. nép. } \frac{1 - e - \varepsilon}{\varepsilon}; \quad (5)$$

le rapport $\frac{1 - e - \varepsilon}{\varepsilon} = \gamma$ peut être appelé le rapport de compression, par analogie avec ce qu'on appelle rapport de détente.

Formule finale. — En additionnant les expressions (1) (2 *bis*), (3) et retranchant les expressions (4) et (5), on a pour la formule finale

$$\tau = \frac{\mathcal{C}}{V} = (a - a')p_0 + a' \frac{p_0 + p_a}{2} + (a + \varepsilon) \text{ Log } \lambda$$
$$+ \frac{\frac{p_a}{\lambda} + p_c + 0{,}25}{2} (1 - d) - p_c (e - 0{,}1) - 0{,}1$$
$$\frac{p_e + p_c}{2} - p_c (1 - e - \varepsilon) \text{ log. nép. } \gamma. \quad (A)$$

III. Dépense de vapeur sensible. — A la fin de l'admission le cylindre est rempli de vapeur à la pression p_a ; si on désigne par δ_a sa densité à cette pression, la masse de la vapeur est $m_a = (a + \varepsilon) V \delta_a$. Mais ceci ne représente que la dépense apparente par coup de piston, car au moment où l'échappement cesse, il reste dans le cylindre une certaine quantité de vapeur qui participe à l'évolution suivante ; cette dernière quantité est $m_c = V (c + \varepsilon) \delta_c$. Par conséquent la dépense de vapeur sensible est

$$m = V \left[(a + \varepsilon) \delta_a - (c + \varepsilon) \delta_c \right] \quad (B)$$

[1] Dans les machines à condenseur et à faible vitesse (60 t : m), la contre-pression p_e dans le cylindre peut assez facilement être maintenue à 0,2 kg : cm² et la compression anticipée relève cette pression de 0,1 kg : cm² environ. Dans les machines rapides (200 t : m) la contre-pression ne descend pas au-dessous de 0,3 kg : cm² avec le meilleur vide pratiquement possible, et elle se trouve relevée de 0,2 kg : cm² environ du fait de la compression anticipée.

et encore cette expression doit-elle être corrigée en calculant la masse de vapeur condensée pendant la compression et pendant l'admission.

IV, V et VI. Pertes de chaleur par les parois. — Cette masse de vapeur condensée dépend évidemment de la quantité de chaleur perdue par le contact de la vapeur avec les parois du cylindre et avec l'eau stagnante.

Dans un article paru il y a un an (*Revue de Mécanique*, mai et juin 1899), l'auteur a exposé comment la théorie mathématique de la propagation de la chaleur dans les parois métalliques conduit, par l'observation de la température fixe des parois, aux formules donnant la quantité de chaleur absorbée. Les considérations développées dans cet article ayant soulevé des critiques, en particulier de la part de M. Anspach (*Revue de Mécanique*, octobre 1899), M. Nadal revient avec détail sur cette question. Nous ne le suivrons pas dans les développements qu'il donne pour soutenir sa manière de voir. Bornons-nous à dire que d'après l'auteur la quantité totale de chaleur absorbée par le métal des parois a pour expression

$$R_a = A \alpha \theta_d + B \beta \theta_e,$$

θ_d étant l'écart de température de la vapeur pendant la détente, θ_e l'écart total, α et β des coefficients qui sont les mêmes pour toutes les machines et peuvent être déterminés expérimentalement, A et B d'autres coefficients dont les valeurs peuvent être déduites des tableaux que donne M. Nadal.

VII. Pertes de chaleur par l'eau stagnante. — Dans cette partie de son mémoire, l'auteur examine d'abord quels sont les divers motifs pour lesquels il se produit dans les cylindres soit des condensations, soit des réévaporations. Cet examen le conduit à la détermination de la masse Y de l'eau stagnante.

La quantité de chaleur absorbée par cette masse est $Y (q_a - q_e)$, q_a et q_e étant les chaleurs internes de l'eau aux températures d'admission et d'échappement. Comme la différence $q_a - q_e$ diffère peu de l'écart total θ_e des températures de la vapeur, cette quantité peut s'écrire $Y \theta_e$.

La quantité de chaleur totale perdue par la vapeur est donc, par unité de surface

$$R_a = A\alpha\theta_d + B\beta\theta_e + Y\theta_e.$$

VIII. Formule générale du rendement. — Il faut multiplier R_a par la surface influencée qui se compose : 1° de la surface de l'espace nuisible ; 2° de la valeur moyenne de la surface découverte par le piston pendant l'admission. La première peut être considérée comme étant égale à la surface du piston multipliée par un nombre i variable avec le type de la machine et ordinairement compris entre 3 et 7 ; en désignant par D le diamètre du piston, la surface de l'espace nuisible est donc $i\frac{\pi D^2}{4}$. La seconde surface peut être considérée comme égale à la moitié de la surface découverte par le piston, c'est-à-dire $\frac{a\pi CD}{2}$, C étant la longueur de la course. La quantité de chaleur perdue par cylindrée a donc pour valeur

$$Q_a = R_a\left(\frac{i\pi D^2}{4} + \frac{a\pi CD}{2}\right) = VR_a\left(\frac{i}{C} + \frac{2a}{D}\right)$$

ou encore

$$Q_a = VR_a\frac{i+2\nu a}{C},$$

ν désignant le rapport de la course C au diamètre D, rapport généralement compris entre 1 et 3.

Cette dépense de chaleur produit la condensation d'une masse de vapeur $m' = \frac{Q_a}{r_0}$, r_0 étant la chaleur latente de vaporisation à la température de l'admission.

La dépense totale de vapeur est ainsi $m + m'$ et si la vapeur contient une certaine proportion x d'humidité, la dépense d'eau est $(1 + x)\,m + m'$.

La quantité Q de chaleur fournie à cette masse d'eau représente : 1° ce qui est nécessaire pour chauffer l'eau depuis la température de l'eau d'alimentation jusqu'à la température de régime de la chaudière ; 2° ce qui est nécessaire pour vaporiser cette eau à cette dernière température. En appelant q_0 et q la chaleur interne de l'eau à la température de la chaudière et à la température de l'eau d'alimentation, r_0 la chaleur latente de vaporisation, on a

$$Q = [(1 + x)(q_0 - q) + r_0](m + m').$$

Remplaçant m et m' par leurs valeurs, il vient pour l'expression du rendement :

$$\frac{A\tau}{(1+x)(q_0-q)+r_0\left[(a+\varepsilon)\delta_a-(c+\varepsilon)\delta_e+\frac{i+2\nu a}{C}\frac{R_a}{r_0}\right]} \qquad (C)$$

En terminant, M. Nadal fait les remarques suivantes :

« Cette formule ne contient plus le volume V du cylindre, et les dimensions de celui-ci n'apparaissent que dans le terme $\frac{i+2\nu a}{C}\frac{R_a}{r_0}$ qui représente les conditions à l'admission. On voit que plus C sera grand, moins les condensations auront de l'influence sur le rendement. Les grandes machines sont donc beaucoup plus économiques que les petites. Cela est facile à comprendre puisque le travail et la dépense de vapeur sensible croissent comme le cube de la dimension linéaire, tandis que les pertes par condensation ne croissent que comme le carré de cette dimension.

» La formule (C) permet de résoudre toutes les questions qui présentent de l'intérêt au point de vue de la construction et du fonctionnement des machines à vapeur.

» Quand on se propose d'établir une machine, le premier point à réaliser c'est qu'elle puisse effectuer le travail que l'on a en vue. Quelquefois la vitesse de marche est imposée par la nature de ce travail. D'autre part, on demande que ce travail coûte le moins d'argent possible, et il s'agit alors de concilier ces deux éléments : la dépense de premier établissement et la dépense courante de combustible et d'entretien, contradictoires dans la plupart des cas, car l'économie dans le rendement n'est ordinairement obtenue qu'au prix d'une augmentation de la dépense d'installation. Mais, assez souvent, cette dernière considération est secondaire vis-à-vis de la première, et il y a de toutes façons le plus grand intérêt à savoir qu'elle est la machine qui donnerait le rendement maximum.

» Les variables dont dépend le rendement sont : les dimensions de la machine, la pression de régime, la pression d'échappement, les phases de la distribution et plus particulièrement le rapport de détente, la vitesse quand elle n'est pas imposée. On déduit de la formule (C) qu'il y a dans chaque cas un système de valeurs de ces variables, pour lequel le rendement est maximum.

» En appliquant la formule du rendement aux divers types de machines connus, on peut arriver à en apprécier les défauts et les qualités, au point de vue thermique ; elle peut servir en même temps à chercher les améliorations réalisables. »

T. P.

Essais de recette des dynamos et machines à vapeur de la station centrale de Zurich, par **H. Wagner**. *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXI, p. 147, 22 février 1900.

Les deux dynamos à vapeur de 1 000 chevaux et les sept chaudières doubles de 180 m², annexées à la station de Zurich [1], furent essayées le 29 juin 1899. Ces essais ont été faits par les maisons Escher-Wyss pour les chaudières, Sulzer pour les machines à vapeur, et Oerlikon pour la partie électrique.

A. *Chaudières.* — Il y a sept chaudières doubles de 180 m² de surface de chauffe, travaillant à 8,5 atmosphères. La chaudière inférieure contient deux tubes de chauffe avec des tubes de circulation en partie ondulés; la chaudière supérieure est munie de 106 tubes à fumée en fer forgé avec dôme de vapeur. Chaque chaudière a un réchauffeur système Schwörer comprenant huit éléments de surchauffe.

	Dimensions.
1° Chaudière inférieure : diamètre	2 370 mm
» longueur	5 000 »
Tubes de fer ondulés	900 à 1000
» lisses	800 mm
2° Chaudière supérieure : diamètre	2 160 »
longueur	3 900 »
Tubes à fumée (diamètre extérieur)	95 »
Dôme de vapeur	900 »
Surface de grille	3,94 m²

Pour les essais, on a pris les chaudières de 1 à 4, la chaudière 6 fournissant la vapeur des pompes d'alimentation. Le coke, l'eau d'alimentation, la cendre ont été mesurés par pesées. Tous les quarts d'heure on a mesuré les températures de l'eau d'alimentation avant la réchauffe, de la vapeur après la sortie du réchauffeur, des gaz dans le carneau précédant la cheminée. L'analyse des gaz fut faite avec un appareil Orsat et le gaz a été pris surtout à la sortie des tubes à feu.

Résultats des essais. — 1. Des essais précédents avaient donné, pour la puissance calorifique des parties combustibles du coke, 7 860 caloris. Le coke renfermait 8 p. 100 d'eau dont la condensation absorbait 48 calories.

D'autre part, il y avait 12,66 p. 100 d'impuretés et 79,3 p. 100 de charbon pur, ce qui abaissait la puissance calorifique effective à 6 172 calories.

[1] Voir *Écl. Élect.*, t. XXII, p. 292, 24 février 1900.

2. La consommation en combustible fut, abstraction faite de l'eau renfermée et de la cendre,

$$8\,058,5 - (644,5 + 1\,021,5) = 6\,392,5 \text{ kg}$$

On vaporisait ainsi : 55 835 kg d'eau. Donc 1 kg de coke

$$\text{vaporisait brut } \frac{55.835}{8058,5} = 6,94 \text{ kg d'eau et}$$

$$\text{net } \frac{55.835}{6392,5} = 8,75 \text{ kg d'eau}$$

3. Température moyenne de l'eau avant le réchauffage	18,5°
Température moyenne de l'eau après le réchauffage	26,5°
Température moyenne de la vapeur après le réchauffeur	249,5°
Température moyenne des gaz du carneau	206,5°
Pression moyenne : 8,3 atmosphères.	

La chaleur effectivement fournie à 1 kg d'eau est de

$$\lambda = 606.5 + 0,305.174.4 + 0.48\,(249,5 - 174,4) = 695,7 \text{ cal.}$$

Si on en déduit les 26,5 calories de l'eau d'alimentation, il reste

669,2 cal. Donc 1 kg de coke produit

$$6,94 \times 669.2 = 4640 \text{ cal.}$$

Ce qui donne comme rendement de la chaudière :

$$\eta = \frac{4\,640}{6\,172} = 75 \text{ p. } 100.$$

4. Par mètre carré de surface de chauffe et par heure, il a été vaporisé $\frac{55\,835}{84\,180} = 9,7$ kg d'eau Par mètre carré de grille, il a été brûlé 78 kg de coke par heure.

5. Les analyses de gaz ont donné les résultats suivants : acide carbonique 14 p. 100, oxygène 7 p. 100, azote 79 p. 100. On ne trouva pas d'oxyde de carbone.

B. *Machines à vapeur.* Les deux machines de 1 000 chevaux sont compound, tandem, le cylindre à haute pression se trouvant derrière, et celui à basse pression devant. La pompe à air est placée sous la machine et est actionnée au moyen d'une tige par le bouton de manivelle. Dimensions :

	Dimensions.
Cylindre HP	679,9 mm
Cylindre BP	1 099,7 »
Course	1 300 »
Diamètre de la tige du piston HP	150 »
Diamètre de la tige du piston BP devant	190 »
Diamètre de la tige du piston derrière	150 »
Puissance garantie : à 28 p. 100 d'admission, 1 160 chevaux indiqués	1 000 ch eff
Puissance garantie : à 40 p. 100 d'admission, 1 370 chevaux indiqués	1 200 »

Le tout à une pression de 8 atmosphères et à 100 tours par minute.

L'essai de consommation a eu lieu en même temps que l'essai de chaudières. Il a donné les résultats suivants :

Pression à la chaudière	8,344 atm.
Pression au cylindre HP	7,594 »
» » BP	0,867 »
Vide	68,03 cm
Vitesse	100,625 t : m
Pression moyenne d'après le diagramme HP	3,025 kg par cm²
Pression moyenne d'après le diagramme BP	1,0115 »
On en déduit : puissance du cylindre HP	622,2 chx
Puissance du cylindre BP	545,3 »
Puissance totale indiquée	1 167 »

avec une admission de 27,45 p. 100.

La consommation a été de 55 835 kg d'eau dont il faut déduire 86 kg d'eau de condensation, ce qui fait 55 749 kgs pour 8 heures, ce qui fait 5,96 kg par cheval-heure indiqué, soit une consommation brute de 0,86 kg de coke par cheval-heure indiqué.

D'après le marché, la puissance effective devait être obtenue en retranchant de la puissance indiquée la puissance à vide plus 4 p. 100 de la puissance comme accroissement dû aux frottements. On prit donc un grand nombre de diagrammes à vide, ce qui donne les résultats suivants :

Pression moyenne d'après les diagrammes HP	0,1709 kg par cm²
Pression moyenne d'après les diagrammes BP	0,04025 »
Vitesse moyenne	100
Puissance indiquée d'après les diagrammes HP	34,9 chx
Puissance indiquée d'après les diagrammes BP	21,6 »
Puissance totale à vide	56,5 chx
Puissance rapportée à la vitesse 100,6 de l'essai principal	56,9 »
Puissance effective	1 066,2 »

Le rendement mécanique est donc de 91,3 p. 100 et la consommation de 0,94 kg de coke par cheval-heure effectif.

C. *Dynamos.* Les génératrices formant volant sont directement accouplées à la machine à vapeur. Le poids de la masse tournante est calculé de façon à obtenir un coefficient de régulation égal à $\frac{1}{250}$. La bobine inductrice est placée entre les deux moitiés de la couronne qui entourent le fer tournant.

Les alternateurs sont construits de façon à pouvoir donner soit du courant monophasé, soit du courant triphasé. Dans le premier cas, on met deux phases en série et la troisième hors-circuit.

La puissance garantie était de 660 kilowatts comme machine monophasée ; pour un $\cos \varphi = 0{,}85$ et en triphasé, 1 200 kilovolt-ampères ; la tension est de 2 000 volts, fréquence 50, vitesse 100 tours par minute, tension de l'excitatrice 100 volts. Les dimensions du fer tournant sont : diamètre extérieur 4990 mm, rayon de gyration 2 280 mm, poids 27 000 kgs. Le poids total est de 41 tonnes.

On a procédé aux essais suivants :

1. Essai de durée pendant 8 heures 1/2 avec charge triphasée sur résistances liquides (750 kilowatts). Après l'arrêt, les températures relevées furent les suivantes : bobinage inducteur, 26° ; pôles, 26° ; carcasse de l'armature, 40° ; tôles, 45° ; armature de l'excitatrice, 45° ; collecteur, 45° ; température ambiante, 26°.

L'excitatrice donnait 42 ampères sous 100 volts. Sa puissance normale est de 100 volts et 120 ampères. La bobine inductrice peut supporter ce courant de 120 ampères et fournit alors 1600 kilovolts-ampères sous une charge purement inductive. Pendant l'essai à 750 kilowatts, on prit fréquemment des diagrammes. Le rendement effectif du groupe (rapport des chevaux électriques aux chevaux indiqués) fut trouvé égal à 90 p. 100, les pertes de l'excitatrice étant comprises.

2° Essai d'arrêt de la machine, l'alternateur tournant à vide, la vitesse est tombée de 88 tours en cinq minutes.

3. On sépara la bielle de la manivelle et on fit

tourner l'alternateur au moyen de l'excitatrice marchant en réceptrice.

Tenant compte des pertes de l'excitatrice, on constata que la rotation de l'alternateur, à raison de 102 t : m, exigeait 16,2 kilowatts ; c'était la perte par frottement et ventilation, soit 1,6 p. 100 de la pleine charge.

4. A 102 t : m, on coupa le courant de l'excitatrice et l'alternateur fut abandonné à lui-même, sans excitation, la vitesse baissa de 23 tours en cinq minutes.

5. On remit l'alternateur en marche à 102 tm ; on coupa le courant qui alimentait l'excitatrice et on l'envoya aussitôt dans la bobine inductrice de

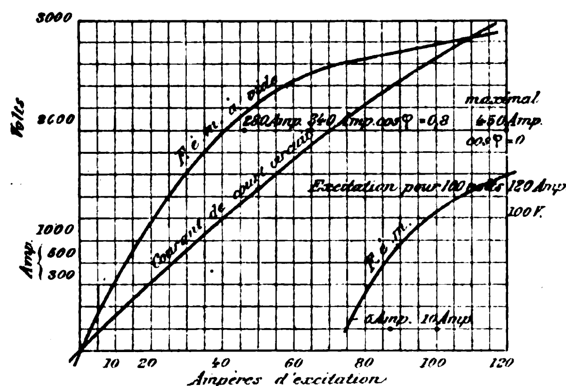


Fig. 1. — Alternateur de 1 000 kilowatts de Zürich. Caractéristiques.

l'alternateur de façon à obtenir une tension de 2 200 volts. La vitesse baissa de 55 tours en cinq minutes. Il en résulte que les pertes dans le fer et les pertes de frottement de l'alternateur exigent $16,2 \times \frac{55}{23} = 38,7$ kilowatts ; donc les pertes dans le fer seulement consomment

$$38,7 - 16:2 = 22,5 \text{ kilowatts.}$$

6. La bielle fut de nouveau réunie à la manivelle et l'on releva la caractéristique à vide en même temps qu'on prenait des diagrammes. La marche à vide prenait 73,2 chevaux indiqués, au début de l'essai ; à la fin lorsque la machine à vapeur s'était échauffée, elle ne prenait plus que 63,7 chevaux indiqués. Sous 2 130 volts et à 102 t : m, il fallait 111,2 chevaux, soit 39,2 chevaux ou 28,8 kilowatts pour les pertes dans le fer, les pertes par courants de Foucault, les pertes dans l'excitatrice et l'excitation. Cet essai donna donc 4 800 watts de perte pour l'excitation et 24 kilowatts pour les pertes dans le fer.

7. On releva la caractéristique en court-circuit tout en prenant des diagrammes. Pour 350 ampères on trouva 109 chevaux.

Les pertes électriques comprennent donc 109 — 67 = 42 chevaux ou 31 kilowatts, l'excitation prenant 3 200 watts, il restait 27,8 kilowatts pour les pertes dans le cuivre et les courants de Foucault. Résistance d'une phase : 0,0667 watts. Perte calculée pour 350 ampères 24 000 watts.

8. Les essais précédents vérifient les calculs de prévision au sujet des pertes. Calcul de la courbe de rendement de l'alternateur (fig. 2).

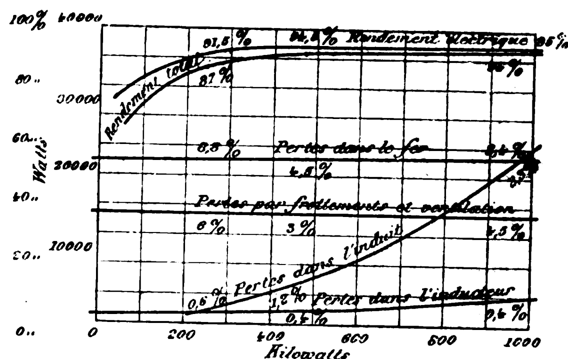


Fig. 2. — Alternateur de 1 000 kilowatts de Zürich. Rendement et pertes

Charge : 940 kilowatts ; puissance totale pour cos φ = 0,8 : 2 000 volts, 1 175 kilovolts-ampères. Pertes : courant de Foucault 2 620 watts ; courant dans l'induit : 23 200 watts ; pertes dans le fer : 22 500 watts ; pertes de l'excitatrice et de son rhéostat : 1 000 watts. Total : 49 320 watts. Il en résulte un rendement de

$$\eta_1 = \frac{940}{989,32} = 95 \text{ p. 100 sans frottements et}$$

$$\eta_2 = \frac{940}{1005,52} = 93,5 \text{ p. 100 avec frottements}$$

A 750 kilowatts on trouve de même 95,7 et 93,8.

9. Les deux génératrices furent couplées en parallèle d'abord à vide, puis à mi-charge, enfin à pleine charge et cela sans difficulté ni balancement ; on se servait d'une lampe de phase.

Si on se base sur le chiffre trouvé de 90 p. 100 pour le rendement, on arrive à une consommation de coke de 1,3 kg par kilowatt-heure.

En service journalier, c'est-à-dire avec une

charge très variable, on a trouvé les chiffres suivants, en 1899 :

	COKE en kg.	HOUILLE en kg.	EAU en m³.	KILOWATTS-HEURE produits.
Septembre . . .	295.837	25.878	2103,5	165.430
Octobre	327.344	22.463	2288,0	154.237
Novembre . . .	367.203	27.671	2609,0	190.250
Total	990.384	76.012	7060,5	509.917
	1 066.396			

soit une consommation moyenne de 2,09 kg de

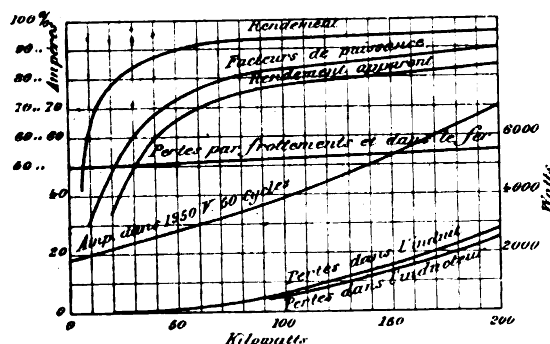


Fig. 3. — Moteur asynchrone de 300 chevaux.

charbon par kilowatt-heure. Il faut tenir compte de ce fait que le coke était envoyé encore humide,

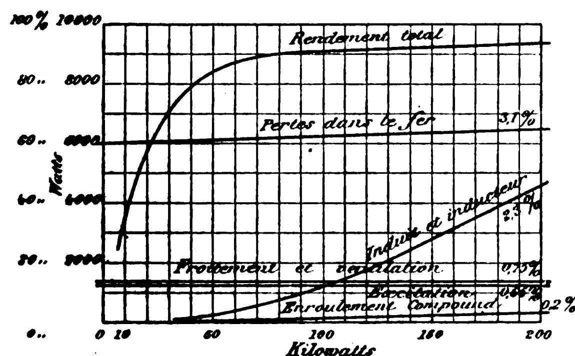


Fig. 4. — Dynamo à courant continu de 200 kilowatts. Rendement et pertes.

ce qui lui donne une augmentation de poids de près de 10 p. 100; en défalquant cette augmentation, il reste une consommation de 1,9 kg par kilowatt-heure et les chaudières vaporisaient 7,2 kg par kilogramme de charbon.

D. *Station transformatrice.* — Pour l'exploitation des tramways, on a installé au milieu de la ville une station transformatrice. Les transformateurs se composent d'un moteur asynchrone

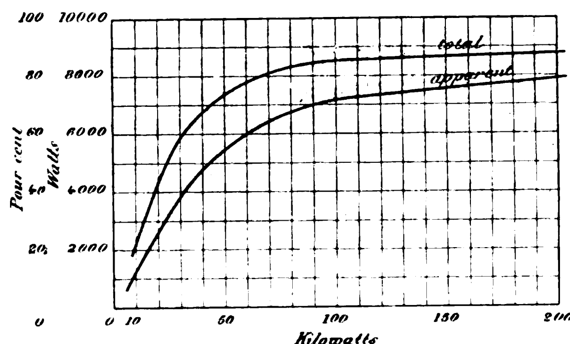


Fig. 5. — Groupe transformateur de 200 kilowatts. (Rendement total et rendement apparent.)

de 300 chevaux, 375 t : m, 2 000 volts, fréquence 50, accouplé directement avec une dynamo de 200 kilowatts, 550 volts. Les courbes ont été relevées sur place et sont reproduites ici (fig. 3 à 5).

E. B.

MAGNÉTO-OPTIQUE

Quelques observations concernant un changement asymétrique des lignes spectrales du fer dans un champ magnétique, par le **Dr P. Zeeman.** *Koninklijke Akademie van Wetenschappen te Amsterdam. Proceedings of the Meeting of Saturday*; p. 298, 30 décembre 1899.

On sait que le spectre du fer est très riche en *raies* (lignes). Parmi ces raies il y en a qui, dans un champ magnétique, présentent le cas *idéal* du triplet (comme la théorie de Lorentz l'exige) ; on remarque alors une symétrie parfaite des composantes latérales (extérieures) de ce triplet par rapport à la ligne médiane (composante intérieure), symétrie qui subsiste même au point de vue de l'intensité des deux composantes latérales.

Mais après un examen plus attentif on s'aperçoit facilement de l'existence d'autres triplets, plus faibles que les premiers et dont les deux composantes latérales n'ont pas la même intensité. M. Zeeman a montré récemment (*Proceedings Royal Academy of Science. Amsterdam*; juin 1898. — *Astrophys. journal.* vol. IX, janv. 1899) qu'il y a des raisons pour prévoir une intensité plus forte pour la composante latérale vers le rouge et dans des champs puissants, il a même

pu observer plusieurs triplets de cette nature. Seulement, la plupart de ces triplets, asymétriques au point de vue de l'intensité des composantes latérales, peuvent tout aussi bien être expliqués par la superposition de plusieurs raies, de sorte qu'on ne peut avoir aucune preuve évidente de l'action du champ magnétique sur l'orbite des ions lumineux. Les recherches de Zeemann n'ont pas d'ailleurs été poussées plus loin.

Tout récemment, M. W. Voigt [1] (*Ueber eine Dissymetrie der Zeeman'schen normalen Triplets*; *Ann. der Physik*. Bd. I Hft. 2. 1900) a été amené, par des vues purement théoriques, à prévoir que l'asymétrie observée par Zeeman doit être plus compliquée. M. Voigt trouve, en effet, par des calculs que nous ne reproduirons pas pour le moment, que la composante vers le rouge doit avoir la plus grande intensité et la composante vers le violet doit être la plus éloignée de la ligne médiane du triplet. Il prévoit en outre que cette symétrie, prépondérante dans un champ faible, doit disparaître dans un champ intense.

M. Zeeman s'est alors proposé de tenter une vérification expérimentale des conclusions théoriques de M. Voigt et c'est la note qu'il a publiée à ce sujet que nous vous proposons d'analyser.

M. Zeemann a employé dans ses recherches un beau réseau concave de Rowland [14438 traits par inch (1 inch = 2,4500 cm) et 3 m de rayon] dont le pouvoir séparateur était très élevé ; il employait en outre un nicol, convenablement disposé, pour faire disparaître la composante médiane du triplet, ce qui lui permettait d'apprécier et de comparer aisément l'intensité des deux composantes extérieures. Il employait comme source lumineuse l'étincelle d'induction éclatant entre deux électrodes de fer et il faisait ses observations directement à l'œil dans le spectre du premier ordre. Malgré les précautions minutieuses qu'il avait prises, il n'a pas pu conclure à une inégalité indubitable d'intensité des deux composantes extérieures. Il est fort probable que l'intermittence de l'étincelle intervenait défavorablement dans ce genre d'observations.

Mais il a eu plus de succès en prenant des photographies dans les spectres du second et du troisième ordre. Il employait le spectre du second ordre pour les radiations comprises entre 3400 μ et 2900 μ et le spectre du troisième ordre pour les radiations comprises dans une étendue plus faible que les premières ; il supprimait le nicol. Dans ces conditions, il a pu observer l'asymétrie prévue par M. Voigt. M. Zeeman a, en effet, remarqué certaines raies qui présentaient l'asymétrie des intensités, d'autres qui présentaient l'asymétrie des distances et enfin un très petit nombre qui présentaient les deux asymétries à la fois. Mais disons tout de suite que l'ordre de grandeur du phénomène est excessivement petit. Voici d'ailleurs les raies étudiées par M. Zeeman et qui présentent les asymétries que nous venons d'énumérer :

3498,00 ; 3687,60 ; 3709,40 ; 3735,01 ; 3763,91 ; 3878,71.

M. Zeeman s'est demandé enfin si les conclusions de M. Voigt ne s'appliqueraient aussi aux quadruplets normaux que présentent certaines raies du fer dans le champ magnétique. La réponse est affirmative, du moins pour les raies : 3466,01 ; 3475,61 ; 3705,73 ; 3722,73 ; 3872,65, dont les composantes présentent l'asymétrie des intensités. En ce qui concerne les raies 3466,01 et 3705,73 elles présentent en même temps l'asymétrie des distances par rapport à la raie primitive, résultat confirmé par Reese (pour la raie 3466,01).

Voici encore quelques raies qui présentent des *particularités* intéressantes, d'après M. Zeeman. La raie 3733,46 donne dans un champ magnétique un triplet, dont la composante vers le violet est *plus près* de la ligne médiane que la composante vers le rouge ; l'asymétrie des intensités n'existe pas pour cette raie.

La raie 3824,58 donne dans le champ magnétique un triplet qui présente l'asymétrie des intensités : la composante extérieure *vers le violet* est plus intense que celle vers le rouge. Il n'est pas probable que cette particularité soit due à la présence de la raie 3824,4 (Neovius) appartenant à l'air, car la composante en question n'est pas nébuleuse et par contre la raie de l'air est très faible. En prenant des photographies des deux raies en question, on reconnait d'ail-

[1] Voir pour la comparaison des deux théories un article de Lorentz. *Physik. Zeitschrift d. Riecke u. Simon.* S. 39, 1899. — Voir plus loin l'analyse de l'article de M. Voigt.

leurs que pour le même temps de pose et pour la même intensité du champ, la raie de l'air n'apparaît pas sur la plaque photographique.

Mais toutes ces particularités exigeraient une étude plus approfondie pour qu'on puisse décider si elles peuvent s'expliquer par une extension de la théorie ou bien si elles sont dues uniquement à des causes perturbatrices dont on n'a pas tenu compte.

Quoi qu'il en soit M. Zeeman est amené à formuler les conclusions suivantes :

1° Que l'asymétrie prévue par M. Voigt existe effectivement ;

2° Que le phénomène étant d'une petitesse extrême, une étude plus minutieuse ne serait pas superflue ;

3° Que les faits observés par M. Zeeman ne peuvent pas décider entre la théorie de M. Voigt et celle de M. Lorentz, mais qu'ils confirment la base commune des deux théories [1].

Addition à la précédente note (15 janvier 1900). — M. Zeeman a vérifié que dans le cas du triplet et du quadruplet 4678 et 4800 du cadmium et dans le cas du triplet et du quadruplet 4680 et 4722 du zinc l'asymétrie des intensités telle qu'elle a été prévue par M. Voigt est manifeste : les composantes extérieures vers le rouge sont manifestement plus intenses que celles vers le violet.

Il a en outre remarqué que la raie 3 733, précédemment étudiée, présente une *polarisation renversée*. Cette polarisation renversée pourrait donc expliquer l'*asymétrie renversée* observée par M. Zeeman et que nous avons signalée plus haut. Eugène Néculcéa.

Dissymétrie du triplet normal de Zeeman, par **H. Voigt**. *Dr. Ann.*, t. I, p. 376-389, février 1900.

En s'appuyant sur les formules de la dispersion électromagnétique établies par Drude [1] d'après une indication de Hetz, Voigt a réussi à rendre compte des phénomènes connus jusqu'ici par les observations de Zeeman [1].

Il se bornait d'abord à une première approximation légitime tant que l'absorption est faible, c'est-à-dire non métallique et que la décomposition est assez prononcée pour que les composantes du triplet soient séparées complètement, autrement dit séparées par des bandes de très faible absorption.

En s'affranchissant de cette restriction, Voigt trouve que les deux composantes du triplet ne doivent pas être symétriques par rapport à la raie primitive et par conséquent ne doivent pas avoir la même intensité. Cette dissymétrie doit être marquée surtout dans les champs faibles : quand le champ augmente, l'intensité de l'une des composantes croît, l'autre décroît, de sorte qu'elles finissent par devenir égales.

Il y a une différence essentielle entre les composantes polarisées rectilignement dues à l'effet transversal et les composantes polarisées circulairement dues à l'effet longitudinal. Celles-ci proviennent de la décomposition symétrique d'une raie d'absorption en deux composantes d'intensité variable : les autres ne sont pas dues à une décomposition, mais à l'apparition d'une nouvelle raie d'absorption dans le voisinage de la raie primitive ; cette nouvelle raie augmente d'intensité quand le champ augmente, tandis que la raie primitive diminue et les deux s'écartent l'une de l'autre symétriquement par rapport à leur milieu primitif.

Cette nouvelle bande apparaît du côté du violet du spectre : c'est la composante située du côté du rouge qui doit présenter la plus grande intensité, tandis que la composante du côté du violet doit être la plus éloignée de la raie primitive.

La vérification expérimentale de ces considérations a été effectuée par Zeeman à la demande de Voigt. Zeeman a reconnu l'existence de la dissymétrie prévue sur les raies du fer, dans les clichés qu'il avait obtenus dans ses premières expériences, et. dans de nouvelles expériences, il a trouvé une différence d'écartement mesurable entre les composantes des raies 3687,6, 3709,4 et 3878,71. M. L.

[1] Ces équations avaient été attribuées par plusieurs auteurs à Hertz. En réalité, elles sont bien dues à Drude, ainsi qu'il ressort d'une note publiée par ce dernier (*Dr. Ann.*, t, I, p. 436-440), où il reproduit un fragment d'une lettre que lui adressait Hertz. Hertz signale seulement la possibilité de rendre compte de la dispersion en modifiant ses équations fondamentales, ce qui a été réalisé effectivement par Drude.

[1] Le travail de Voigt a été publié dans les Annales de Wiedemann en plusieurs mémoires qui feront l'objet d'une analyse d'ensemble, prochainement.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

ACADÉMIE DES SCIENCES

Séance du 14 mai 1900.

Sur une modification des surfaces métalliques sous l'influence de la lumière, par **H. Buisson**, *Comptes rendus*, t. CXXX, p. 1298-1300.

On sait que sous l'influence de la lumière ultra-violette il y a déperdition de l'électricité négative et que cette déperdition est beaucoup plus rapide quand le conducteur vient d'être décapé, qu'après un certain temps d'usage. L'auteur a étudié cette variation de la déperdition ainsi que la variation des diverses autres propriétés superficielles.

I. *Vitesse de la déperdition*. — Lorsqu'on opère avec une source riche en rayons ultra-violets la déperdition est très active et ses variations sont difficiles à déceler ; aussi l'auteur préfère-t-il employer la lumière solaire, bien que la déperdition ne se manifeste alors qu'avec un petit nombre de métaux, car un faible changement produit dans ces conditions une grande différence dans la déperdition.

Avec cette lumière une lame de zinc, ou d'aluminium, ou mieux de zinc amalgamé, fraîchement nettoyée, présente la déperdition négative ; celle-ci est extrêmement grande immédiatement après le décapage, puis elle diminue régulièrement et tend vers zéro. C'est bien à une action de la lumière, et non à une oxydation par l'air, qu'est due cette variation, car une lame laissée plusieurs heures à l'obscurité, après avoir été nettoyée et exposée ensuite à la lumière se comporte comme une lame neuve. De plus l'affaiblissement de la sensibilité causé par la lumière n'est pas permanent : il disparaît à l'obscurité, et après un séjour d'une durée suffisante à l'abri de la lumière, la lame se comporte comme si elle n'avait jamais été éclairée.

Une lame d'un métal, laissée depuis assez de temps à l'obscurité, présente une différence de potentiel définie avec une autre lame donnée servant de témoin. Éclairée par le soleil et comparée ensuite avec la lame qui n'a pas subi d'éclairement, elle a une nouvelle valeur de la différence de potentiel. Cette valeur n'est pas fixe ; elle varie, rapidement d'abord, puis plus lentement, pour revenir à la valeur antérieure à l'éclairement, après un temps suffisant.

La plupart des métaux, aluminium, zinc, cuivre, étain, plomb, antimoine, bismuth, laiton, zinc amalgamé, sont plus électro-négatifs après avoir été éclairés. La variation peut s'élever à 10 et 12 centièmes de volt. Le platine seul se comporte d'une façon inverse ; il devient plus positif. Quelques métaux, l'or, l'argent, le fer, donnent des résultats très faibles et par suite peu précis.

Une étude plus complète faite sur une certaine lame (un miroir métallique) a fourni les résultats suivants :

Il y a deux potentiels définis, l'un à l'obscurité, l'autre à la lumière ; leur différence est d'environ 0,125 volt La valeur obtenue à la lumière ne dépend pas de l'intensité, tant que celle-ci reste considérable ; c'est ainsi qu'on a la même variation, depuis le potentiel à l'obscurité, en prenant la lumière du soleil seule, celle du ciel ou des nuages seule, ou en les faisant agir ensemble.

La variation n'est pas instantanée, mais elle est rapide. Après 30 secondes d'éclairement, elle s'élève à la moitié de sa valeur définitive ; après 2 minutes, elle l'a presque entièrement atteinte.

Un verre rouge ou jaune arrête presque totalement l'action des rayons ; un verre vert (laissant passer le bleu) donne environ la moitié de la radiation ; un verre incolore donne la variation presque totale. On serait donc amené à penser que l'extrême ultra-violet, arrêté par ce dernier verre, agit peu. Il n'en est rien, et son action est très remarquable.

Si l'on éclaire avec l'arc électrique, sans interposer d'écran, on constate une variation de potentiel nulle. Si l'on recommence en interposant entre l'arc et le métal une lame de verre, on retrouve une variation notable, de même sens qu'avec la lumière du soleil. C'est donc que les rayons extrêmes du spectre de l'arc, arrêtés par le verre, agissent en sens inverse des rayons moins réfrangibles et les neutralisent.

Avec le zinc, cette action inverse est encore plus nette. En l'éclairant avec l'arc, la variation

produite n'est pas nulle, mais positive; l'interposition d'une lame de verre rend la variation négative comme avec le soleil. Il y a donc une *longueur d'onde d'inversion* qui sépare le spectre en deux régions; la plus réfrangible cause une variation de potentiel négative, l'autre une variation positive. Pour le zinc, cette longueur d'onde est d'environ 0μ,310.

Pour d'autres métaux, le cuivre, l'aluminium, cette inversion ne se rencontre pas.

Ainsi, dans certains cas, l'action des différentes radiations est de sens inverse. Il y a là quelque analogie avec d'autres actions de la lumière, par exemple celle des rayons rouges opposée à celle des rayons violets sur la plaque daguerrienne et aussi en phosphorescence.

En faisant varier le milieu, remplaçant l'air par l'oxygène, l'anhydride carbonique, l'hydrogène bien privé d'oxygène, et aussi en abaissant la pression à 1 cm de mercure, la variation reste la même que dans l'air à la pression ordinaire.

III. L'auteur a également reconnu que la lumière produit des modifications chimiques à la surface d'une lame de zinc fraîchement amalgamée. Une telle lame est exposée au soleil contre un écran percé de trous, ou mieux est appliquée contre une plaque photographique entièrement noire, dont on a enlevé la gélatine par endroits, afin qu'une action possible de l'air soit égale partout. Après quelques minutes on la retire. Il n'y a alors aucune différence d'aspect en ses points, mais si on l'expose à la vapeur d'iode on développe l'image latente, et le dessin de l'écran apparaît, l'iode attaquant davantage les parties qui n'ont pas été éclairées.

IV. L'auteur a essayé, mais vainement, de mettre en évidence une altération des propriétés optiques, en étudiant les éléments d'un rayon lumineux polarisé qui s'est réfléchi sur la surface métallique.

Ce résultat négatif est à rapprocher de celui qui a été observé par M. Lippmann [1] pour une lame métallique qui subit la polarisation voltaïque.

Il est vraisemblable que les propriétés optiques font intervenir une épaisseur de métal plus considérable que celle qui intéresse les phénomènes électriques et sur laquelle porte la variation étudiée.

(1) Lippmann, *Journal de Physique*, t. X, p. 202; 1881.

En résumé, conclut M. Buisson, sous l'influence de la lumière, la surface passe d'un état à un autre, qui n'est pas permanent et qui disparaît peu à peu quand l'énergie des radiations lui fait défaut. Il semble qu'un équilibre se déplace, le sens du déplacement pouvant varier avec la nature des radiations.

Sur les propriétés thermo-électriques de divers alliages par **Emile Steinmann.** *Comptes rendus*, t. CXXX, p. 1300-1303.

Les recherches ont porté sur une série de dix aciers au nickel [1], de quatre platines iridiés, trois bronzes d'aluminium, cinq bronzes télégraphiques, cinq laitons, quatre maillechorts; chaque série provenant d'une même usine.

La courbe de la force électromotrice a été déterminée par cinq points, l'une des soudures étant à 0°, l'autre dans une enceinte maintenue successivement à la température d'ébullition de l'acétone (55°), de l'alcool propylique (95°), de l'acétate d'amyle (140°), de l'orthotoluidine (195°), du benzoate d'amyle (260°).

La mesure des forces électromotrices a été faite par la méthode de compensation de Poggendorff, modifiée par Du Bois-Reymond [2].

(1) Ces aciers sont ceux qui ont été étudiés quant à leurs propriétés magnétiques, par M. E. Dumont (voir *Écl. Élect.*, t. XVI, p. 292, 1898).

(2) Le circuit principal comprenait un accumulateur et une résistance de 13 500 Ω environ en constantan; le circuit dérivé comprenait un galvanomètre Thomson de grande sensibilité et alternativement un élément-étalon Clark, le couple thermo-électrique en expérience. Le rapport des résistances interceptées sur le circuit principal par les deux extrémités de la dérivation, suivant que le Clark ou le couple thermo-électrique entrait dans le circuit dérivé, donnait directement le rapport des forces électromotrices du Clark et du couple.

Par un fractionnement convenable de la résistance de 13 500 Ω, la résistance de compensation a pu être déterminée chaque fois très exactement par le déplacement d'un curseur sur un fil calibré. Les forces électromotrices mesurées ont varié entre 15 et 6 300 microvolts.

Des précautions particulières avaient été prises pour éviter dans le circuit dérivé la production de forces électromotrices *parasites*, étrangères à celle qu'il s'agissait de déterminer; les soudures du couple avec les fils du galvanomètre, par exemple, étaient maintenues toutes deux à la même température par une circulation d'eau, etc.; en outre, chaque observation était immédiatement suivie de la mesure de la déviation que donnait au galva-

L'auteur donne un tableau des forces électromotrices entre 0° et 100° des couples formés par les alliages étudiés avec un fil de plomb chimiquement pur ; ces forces électromotrices, positives ou négatives suivant que le courant va du plomb à l'alliage à travers la soudure chaude, ou inversement, sont au plus de 2460 microvolts.

De ces recherches l'auteur tire les conclusions suivantes :

« 1° Les courbes de force électromotrice des alliages binaires sont superposées dans l'ordre des teneurs en l'un des composants (cette loi se vérifie seize fois sur 17 alliages binaires étudiés);

» 2° Les courbes de force électromotrice des alliages binaires sont comprises toutes entre celles des composants ou toutes en dehors de celles des composants.

» Il n'est pas permis de déduire de ces deux remarques que l'alliage le plus riche en l'un des composants soit celui dont la courbe est la plus rapprochée de celle de ce composant. Le contraire arrive même le plus souvent.

» Dans les alliages ternaires (maillechorts, soit laitons ou nickel) et dans les aciers au nickel, il n'y a pas de règle simple qui relie la force électromotrice à la composition chimique. On peut remarquer cependant que la présence du nickel, même à faible dose, a pour effet de rapprocher beaucoup la courbe d'un alliage de celle du nickel. »

Transmissions duplex et diplex par ondes électriques, par **Albert Turpain**, *Comptes rendus*, t. CXXX, p. 1303-1305.

Le problème de la transmission télégraphique duplex a pour but de permettre entre deux postes A et B, reliés par un fil unique, la transmission d'un télégramme de A vers B en même temps que celle d'un télégramme de B vers A.

Les diverses solutions que la télégraphie par courant continu a données de ce problème (méthode différentielles, méthode du pont de Wheatstone, méthodes de Mance, d'Edison, de Muirhead, d'Ailhaud) nécessitent l'établissement en A et en B d'une ligne factice, équivalente à la ligne réelle en ce qui concerne la résistance et la capacité. L'obligation de distribuer la résistance et la capacité de la ligne factice à la manière dont elles sont distribuées sur la ligne réelle rend la construction des lignes factices délicate et coûteuse lorsque la ligne réelle est un câble sous-marin ou souterrain.

M. Turpain qui, comme le savent les lecteurs de ce journal a déjà fait divers essais d'application des ondes hertziennes à la télégraphie multiple, s'est proposé d'utiliser ces ondes à la solution du problème de la transmission duplex.

La solution utilisant les ondes n'oblige pas à se servir de lignes factices ; elle est en outre plus générale que celles utilisées dans la télégraphie par courant continu. Elle consiste à assurer la transmission de A vers B au moyen du courant emprunté à une pile à la manière usitée ordinairement en télégraphie. La transmission de B vers A s'effectue au moyen d'ondes électriques produites en B par un excitateur, concentrées sur la ligne au moyen d'un manipulateur, et qui parviennent en A à un résonateur à coupure dans la coupure duquel on intercale une pile locale et le récepteur à influencer. On augmente la sensibilité du résonateur en disposant un cohéreur entre les deux pôles de son micromètre [1].

La solution ainsi réalisée permet d'utiliser un

nomètre le circuit dérivé fermé sur lui-même, le couple thermo-électrique étant mis hors circuit. Cette déviation, traduite en micro-ampères et multipliée par la résistance donnait la force électromotrice *parasite* à ajouter, ou à retrancher, la force électromotrice *brute* observée.

De la discussion des conditions expérimentales et des causes d'erreur il résulte que l'erreur probable sur chaque résultat ne dépasse pas deux microvolts.

[1] Le parfait fonctionnement des appareils ainsi disposés nécessite quelques précautions.

Les ondes produites en B et envoyées sur la ligne peuvent suivre deux chemins, la ligne BA et le conducteur qui permet au courant continu envoyé par A d'agir sur le récepteur de B. En suivant ce second chemin les ondes risqueraient d'endommager l'isolant de l'électro-aimant du récepteur de B. De plus, les ondes qui parviendraient en A se trouveraient notablement affaiblies.

Pour protéger l'électro-aimant du récepteur de B, il suffit de l'enfermer dans une enceinte métallique mise en communication avec le fil de l'électro-aimant. Les ondes électriques n'intéressant que la surface des conducteurs qui les concentrent ne risquent plus d'endommager l'électro-aimant.

Pour empêcher la majeure partie des ondes d'être propagées par le second chemin qui leur est offert, il suffit de comprendre au nombre des conducteurs qui forment ce chemin une cuve électrolytique ou une bobine de fil de fer noyée dans la paraffine.

appareil télégraphique donné pour la transmission de A vers B, alors qu'on emploie un appareil différent pour la transmission de B vers A.

Cette solution utilise concurremment le courant continu et les ondes électriques sans que les dispositifs assurant le fonctionnement par courant continu influent sur le fonctionnement de ceux utilisant les ondes.

On peut donc disposer les deux groupes d'appareils à distance. C'est ainsi qu'on peut permettre l'échange de communications entre deux postes A et B au moyen du courant continu en même temps que deux autres postes C et D, intermédiaires, empruntent le fil même qui relie A et B pour communiquer entre eux au moyen des ondes électriques. En permettant cette combinaison la solution actuelle offre un avantage sur celles ordinairement employées.

L'auteur a expérimenté ces dispositifs entre deux postes situés à 350 m l'un de l'autre. Les deux postes étaient munis d'appareils de Morse et les signaux simultanément émis étaient reçus sans qu'une des transmissions influât sur l'autre. La ligne était constituée par un des fils de protection du secteur de la station de Bordeaux-les-Chartrons. Le voisinage des fils du secteur n'eut aucune influence sur la transmission, malgré la grande intensité du courant qui les parcourait. Il semble donc que la télégraphie par ondes électriques puisse être réalisée sur les fils mêmes qui servent actuellement en télégraphie par courant continu sans nécessiter d'isolement spécial.

Transmission diplex. — La transmission diplex, qui permet d'envoyer simultanément deux télégrammes dans le même sens de A vers B, peut être également assurée en employant concurremment le courant continu et les ondes électriques. Il suffit de disposer au même poste A le manipulateur utilisant le courant de la pile et l'excitateur d'ondes électriques ; on place au même poste B les deux récepteurs, l'un fonctionnant au moyen du courant continu, le second au moyen des ondes électriques et par l'intermédiaire du résonateur à coupure.

Expériences de télégraphie sans fil en ballon libre, par **Joseph Vallot, Jean** et **Louis Lecarme**. *Comptes rendus*, t. CXXX, p. 1305.

Les auteurs ont profité d'une ascension aérostatique faite par l'un d'eux (M. J. Vallot) pour rechercher s'il est possible de communiquer par le moyen des ondes hertziennes entre la terre et un ballon libre, à grande distance, et *sans aucun conducteur* reliant le récepteur avec la terre.

Le poste transmetteur était disposé à l'usine à gaz du Landy (plaine de Saint-Denis), à une centaine de mètres du ballon au départ. Il se composait d'une batterie de dix accumulateurs, d'un manipulateur, d'un interrupteur pilon (système Lecarme) et d'une bobine de 0,40 m d'étincelle, munie d'un oscillateur à boules de 0,04 m de diamètre. Un des pôles de la bobine était en communication avec le sol, et l'autre avec une antenne composée d'un fil de cuivre isolé, de 40 m de long, suspendu à un ballonnet captif de 50 mc. Les appareils étant ainsi disposés, l'étincelle se trouvait réduite à 0,04 m de longeur, et la production des ondes électriques était maxima pour un écartement des boules de 15 mm.

Le récepteur (système Lecarme, avec radioconducteur Branly à limaille d'or) était placé dans le ballon. Un des pôles du radioconducteur était mis en communication avec un fil de cuivre isolé de 50 m environ, suspendu verticalement à la nacelle et terminé par une masse métallique.

Le ballon s'éleva d'abord verticalement, puis dériva lentement. Les signaux furent entendus très nettement dans le ballon, jusqu'à une altitude de 600 m, la distance horizontale étant de 3 km environ. Ils furent encore perçus, quoique plus faiblement, jusqu'à une altitude de 800 m et à une distance de 6 km, mais il était nécessaire d'augmenter la sensibilité de l'appareil par un réglage convenable du relai.

Les auteurs concluent de cette expérience :

« 1° Que le fil de terre n'est pas indispensable au récepteur pour une transmission à grande distance ;

» 2° Que le ballon s'étant élevé d'abord verticalement à une grande hauteur, les signaux ont été nettement perçus, quoique les deux antennes fussent dans le prolongement l'une de l'autre, et que les plans normaux à leurs extrémités fussent parallèles et séparés par une grande distance.

» Il semble donc résulter de là que l'antenne, employée comme condensateur des ondes, est

un appareil imparfait, puisqu'il y a des émissions dans toutes les directions.

» 3° Conformément aux résultats que nous avons obtenus au mont Blanc [1], la différence de potentiel entre les deux postes ne semble pas avoir d'influence sensible dans les conditions où nous avons opéré. »

Dispositif destiné à empêcher l'interception des dépêches dans la télégraphie sans fil, par **D. Tommasi**. *Comptes rendus*, t. CXXX, p. 1307-1308.

Il comprend deux transmetteurs, que nous appellerons A et B, réglés de manière que le rayon d'action du premier soit un peu plus grand que la distance qui le sépare du poste récepteur C, tandis que celui du second soit un peu plus petit que cette distance. Ces réglages s'obtiennent en faisant varier la distance séparant les deux boules de l'oscillateur.

Le transmetteur A sert à l'envoi des signaux que l'on désire recueillir; le transmetteur B envoie des signaux quelconques. Dans ces conditions tout appareil récepteur placé dans la zone d'action de B recueillera une confusion de signaux parmi lesquels il sera impossible de recueillir ceux de A tandis que ces derniers seuls agiront sur le poste récepteur C.

Sur les transformations allotropiques des alliages de fer et de nickel, par **L. Dumas**, *Comptes rendus*, t. CXXX, p. 1311-1314.

MM. Dewar et Fleming, et après eux M. Osmond [2] ayant immergé dans l'air liquide un alliage de fer et de nickel à 29,07 p. 100 de nickel ont constaté qu'il avait subi la transformation non réversible. Or cet échantillon commence à subir la transformation réversible, au-dessus de 0° : il présente donc cette particularité d'accuser successivement les transformations caractéristiques des deux catégories d'alliages qui ont été dénommées par M. Ch.-Ed. Guillaume *réversibles* et *irréversibles* [3]. M. Dumas a lui-même signalé un alliage à 27,72 p. 100 de nickel qui a la même propriété [1]. Ces constatations l'ont amené à faire de nouvelles déterminations sur des échantillons à teneurs voisines de 25 p. 100.

Le carbone ayant la propriété d'abaisser le point de transformation non réversible, il a eu soin d'écarter les teneurs en carbone élevées. Lorsque la transformation non réversible ne se produisait pas à la température ordinaire, il a eu recours au refroidissement dans la neige carbonique. Les résultats de ses expériences sont les suivants :

Composition chimique pour. 100.			Point de transformation			
			non réversible		réversible	
Nickel.	Carbone.	Manganèse.	A l'échauffement.	Au refroidissement.	A l'échauffement.	Au refroidissement.
22,64	0,095	0,230	560°	85°	»°	»°
24,04	0,343	0,506	520	60	»	»
24,72	0,098	0,153	530	40	»	»
25,84	0,079	0,230	495	25	60	50
27,12	0,233	0,182	475	vers — 30°	95	90
27,72	0,251	0,364	425	vers — 70°	90	90
28,82	0,110	0,650	410	vers — 60°	100	90
29,94	0,260	0,492	»	non transformé à 78°	110	100

Jusqu'à 25,84 p. 100 de nickel, les points de transformation non réversibles sont au-dessus de 0°; à partir de 27,12 p. 100 de nickel, le point de transformation au refroidissement est au-dessous de 0°; à 29,94 p. 100, la neige carbonique est impuissante à produire la transformation non réversible ; le point de transformation, s'il existe, ce qui nous paraît très probable, n'apparaîtrait que dans l'air liquide. A la teneur de 25,84 p. 100 de nickel, nous constatons l'existence simultanée des points de transformation réversible et non réversible ; à mesure que la teneur en nickel augmente, les points de transformation réversible s'élèvent, tandis que les points de transformation non réversible s'abaissent.

Les alliages dont la teneur en nickel est voisine de 25 p. 100 n'accusent plus la transformation réversible, même dans l'air liquide, lorsque leur teneur en carbone est suffisamment élevée. Mais ces alliages accusent la transformation réversible, même lorsque leur teneur s'abaisse

(1) *Écl. Élect.*, t. XXI, p. 236, 11 nov. 1899.

(2) *Proc. Roy. Soc.*, t. LX, 1896, et *Comptes rendus*, t. CXXVIII, p. 1396 (voir *Écl. Élect.*, t. XX, p. 151, 29 juillet 1899).

(3) *Comptes rendus*, t. CXXIV, p. 1515. *Écl. Élect.*, t. XII, p. 124, 1897.

(1) *Comptes rendus*, t. CXXIX, p. 42. *Écl. Élect.*, t. XX, p. 152, 1899.

au-dessous de 26 p. 100, pourvu qu'elle ne s'en éloigne pas notablement. C'est ce qui résulte des déterminations de points de transformation suivantes :

Composition chimique pour 100			
Nickel.	Carbone.	Manganèse.	Chrome.
25,27	0,587	0,880	»
24,61	0,640	0,880	»
21,90	0,570	0,480	»
16.05	0,535	0,828	3,02

Points de transformation.	
réversible.	non réversible.
+ 75°	non transformé à — 78°
vers — 25°	non transformé à — 188°
vers — 15°	non transformé à — 78°
non transformé à — 188°.	

Les additions de carbone ont mis en évidence dans ces échantillons la transformation réversible, même lorsque la teneur en nickel est réduite à 21,90 p. 100. Le point de transformation s'abaisse de plus en plus à mesure que la teneur en nickel diminue.

Ces constatations amènent l'auteur à admettre que les alliages peu carburés à teneurs voisines de 25 p. 100 subissent la transformation réversible comme les alliages fortement carburés, c'est-à-dire qu'ils subissent successivement, sous l'influence du refroidissement, la transformation non réversible et la réversible, cette dernière étant masquée par la première qui est plus intense.

Les résultats obtenus par M. Dumas lui ont permis de prolonger les courbes du diagramme résumant les résultats trouvés antérieurement par M. Osmond [1].

L'examen de ce diagramme l'amène à admettre que les courbes des points de transformation du fer, transformation non réversible, et celles des points de transformation du nickel, transformation réversible, se coupent, et sont, par conséquent, distinctes. Ces courbes ne présentent ni minimum ni branche horizontale comme les courbes de point de fusion, c'est-à-dire qu'il n'existe aucune proportion de fer et de nickel jouissant, au point de vue de la transformation allotropique, de propriétés analogues à celles des eutectiques.

Le nickel abaisse les points de transformation du fer, et le fer abaisse de même ceux du nickel, quoiqu'il commence par les relever. Il en résulte que le magnétisme des alliages qui n'ont pas été refroidis au-dessous de 0° provient exclusivement du fer, si la teneur en nickel est inférieure à 25 p. 100 et exclusivement du nickel, si elle est supérieure à 26 p. 100. Entre 25 et 26 p. 100, le magnétisme a disparu presque complètement à la température ordinaire, en conséquence de l'abaissement simultané des points de transformation du fer et du nickel

[1] *Comptes rendus*, t. CXXVIII, p. 306. *L'Écl. Élect.*, t. XX, p. 149, 29 juillet 1899.

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE

Séance du 18 Mai 1900

M. Villard expose ses recherches sur ***le rayonnement du radium***, recherches qui l'ont amené à admettre l'existence de rayons non déviables très pénétrants.

Après avoir décrit les expériences déjà connues [1], M. Villard fait connaître les suivantes :

On expose au rayonnement d'une source de dimensions très petites trois plaques photographiques superposées, placées dans un champ magnétique ; les rayons incidents arrivent très obliquement à travers un diaphragme percé dans une lame de plomb. Sur la première plaque on voit s'inscrire la trajectoire d'un faisceau dévié, légèrement étalé et fortement marbré, et un faisceau absolument rectiligne, sans marbrures. Si la pose dure cinq ou six jours, on voit sur le second cliché la trace du même faisceau rectiligne, l'autre a presque complètement disparu ; enfin le troisième cliché ne porte uniquement que ce faisceau, dont l'impression, sur les parties les plus éloignées de la source, s'est faite à travers deux ou trois centimètres de verre.

Cette expérience montre qu'il existe des rayons non déviables, très pénétrants, mais peu actifs au point de vue photographique, c'est ce qui avait rendu difficile l'interprétation de certains clichés obtenus à travers une ou deux épaisseurs de papier noir. Les rayons déviables, ou rayons cathodiques, n'étant pas sensiblement affaiblis, exercent une action photographique très intense et rendent difficile l'observation des rayons non déviables.

[1] Voir *L'Écl. Électr.* du 28 avril 1900, p. 159.

L'existence d'une émission secondaire de rayons normaux à une lame métallique frappée par les rayons cathodiques est mise en évidence en laissant arriver ces rayons obliquement sur une lame d'aluminium qui recouvre deux plaques photographiques superposées. On a sur chaque plaque deux images de la région circulaire de la lame d'aluminium atteinte par les rayons incidents; dans deux images, l'une a le même diamètre sur les deux plaques ; elle est beaucoup plus faible sur la seconde, l'autre image, dont l'intensité ne varie pas beaucoup, a un diamètre un peu plus grand sur la seconde plaque. Les deux images se coupent sur la première plaque et sont en partie superposées sur la seconde. En répétant l'expérience avec une source linéaire l'une des images est circulaire comme la région frappée par les rayons incidents, l'autre est ovale.

Enfin en faisant tomber des rayons sur une ouverture circulaire percée dans une lame de plomb et dont une moitié est recouverte par une lame d'aluminium très mince, on constate sur une plaque photographique parallèle, la formation de deux demi-anneaux de même diamètre, l'un d'eux étant seulement un peu plus diffus.

Ces expériences ont été faites avec du radium d'âge différent fourni par M. et Mme Curie et M. Debierne; certains échantillons étaient très actifs; d'autres n'étaient plus phosphorescents.

M. Villard pense pouvoir conclure que les rayons cathodiques du radium peuvent traverser sans modification une lame métallique très mince ; la vérification serait difficile sur les rayons cathodiques des tubes de Crookes.

Si l'épaisseur de la lame devient suffisante (0,1 ou 0,2 mm) la transmission est remplacée par une émission secondaire normale.

D'autre part le rayonnement du radium semble se diviser en trois parties : 1° les rayons déviables ou cathodiques ; 2° les rayons non déviables très peu pénétrants, qu'on doit rapprocher des rayons présentant les mêmes propriétés qui émanent de la cathode des tubes de Crookes; ces rayons observés par M. J.-J. Thomson, en 1897, sont faciles à photographier dans un tube où le vide n'est pas trop poussé ; 3° les rayons non déviables très pénétrants, qui doivent être assimilés aux rayons X, dont les rapprochent leurs deux propriétés essentielles.

M. H. Becquerel rappelle, à propos d'une expérience projetée par M. Villard, qu'il a essayé de produire la réfraction des noyaux d'un radium par des prismes de cuivre et d'aluminium de 30° et qu'il n'a obtenu aucun résultat.

Il présente deux objections aux conclusions de M. Villard : l'une est basée sur les particularités que présentent toujours les bords d'une ombre portée. M. Becquerel attire en outre l'attention sur l'importance que peuvent prendre les rayons secondaires quand la matière radiante est en contact direct avec un solide. C'est ainsi qu'à travers une lame de plomb de 2 mm, on obtient une action intense sur une plaque photographique, si le radium est placé *sur le plomb*. Il est à craindre que le verre des tubes qui entourait la matière active ne soit l'origine des rayons observés par M. Villard. Les rayons secondaires du plomb pouvaient aussi avoir produit l'impression que M. Villard attribue à une émission normale par une plaque placée au delà de l'écran de plomb.

Dans toutes les expériences de M. Becquerel et de M. Curie on a eu soin de ne pas interposer d'autres écrans que ceux qui interceptaient la lumière directe.

M. Villard répond que, dans certaines de ces expériences, la matière active était enveloppée dans du papier à cigarettes, qui n'émet évidemment pas de rayons secondaires en quantité sensible. On a même pu opérer sur du radium nu, qui n'était pas phosphorescent.

L'examen du cliché qui montre les rayons émis par une lame d'aluminium à 45° des rayons incidents prouve que l'interprétation de M. Becquerel est insuffisante.

Enfin l'expérience faite sur une ouverture circulaire pratiquée dans une lame de plomb avait précisément pour but d'éliminer l'influence des bords.

M. Villard ne fait aucune difficulté d'admettre que les rayons non déviables très pénétrants ne soient d'origine secondaire ; ils pourraient prendre naissance sur le chlorure de baryum dans lequel se trouve disséminé le radium.

La discussion se termine sur une observation de M. Becquerel relative au rôle possible d'une phosphorescence invisible, M. Villard observe qu'il a obtenu les mêmes résultats avec des plaques nues ou enveloppées et qu'il faut toujours le même temps pour produire le même cliché.

C. R

Le Gérant : C. NAUD.

Tome XXIII. Samedi 2 Juin 1900. 7e Année. — N° 22

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

L'EXPOSITION UNIVERSELLE

MOTEURS A GAZ CHARON

Déjà à l'Exposition Universelle de 1889, le moteur Charon, alors d'origine toute récente, attirait l'attention des ingénieurs par la nouveauté et l'originalité de ses dispositifs de réglage qui, en permettant de faire varier automatiquement par le régulateur la compression du mélange tonnant et la détente des gaz de l'explosion d'après la puissance exigée du moteur, assuraient à la fois une très faible consommation de gaz et une très grande régularité de marche. Les améliorations de détail dont il a été l'objet depuis cette époque, tant de la part de l'inventeur que de la Société générale des Industries économiques qui en a entrepris la construction sur une grande échelle, en ont fait un moteur convenant fort bien pour la conduite des dynamos comme l'ont prouvé les nombreuses installations d'éclairage électrique effectuées dans ces dernières années avec des moteurs de ce type, et, en particulier, le groupe électrogène Charon-Vicarino de l'usine La Bourdonnais, au Champ de Mars.

Fonctionnement du moteur Charon. — Comme la plupart des moteurs à gaz le moteur Charon utilise le cycle à quatre temps : aspiration du mélange tonnant pendant la course d'arrière en avant du piston; compression de ce mélange pendant le retour; inflammation et détente pendant la course aller qui suit; enfin expulsion des gaz de la combustion pendant la course qui ferme le cycle.

L'arrivée du gaz, pendant la première phase, s'effectue par une soupape dont l'ouverture est commandée par le régulateur; l'air est puisé dans l'atmosphère par l'intermédiaire d'un long tube enroulé en hélice; le mélange de gaz et d'air pénètre dans le cylindre par une

seconde soupape, la soupape d'admission. Dès que le piston est arrivé à l'extrémité de sa première course, la première soupape se ferme; au contraire la seconde reste ouverte pendant une fraction de la course suivante, fraction dont la valeur varie suivant la position du régulateur. L'arrivée du gaz se trouve donc coupée dès le début de la seconde phase, tandis que le mélange tonnant emmagasiné dans le cylindre est refoulé, pendant une partie plus ou moins grande de cette phase, dans le tube enroulé en hélice dont nous parlions précédemment, et la compression ne commence qu'à partir de l'instant où la soupape d'admission est fermée. Quand, la seconde phase étant achevée, le piston effectue sa deuxième course en avant, une étincelle électrique enflamme le mélange à un moment que l'on peut régler avec précision, et la détente se produit pendant le reste de cette course. L'expulsion des gaz de la combustion s'effectue dans les conditions ordinaires.

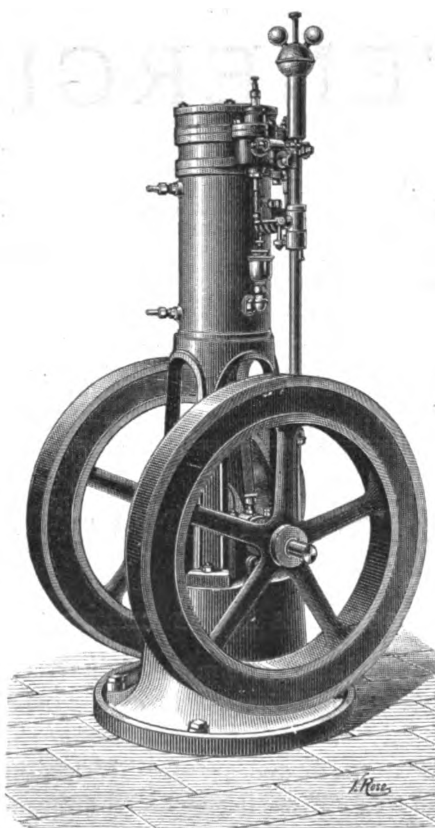


Fig. 1. — Moteur Charon, type D.

Comme on le voit, l'originalité du moteur Charon réside particulièrement dans l'emmagasinement d'une partie plus ou moins grande du mélange tonnant dans le tube hélicoïdal qui sert à l'aspiration de l'air. Par la fonction même de ce tube, le mélange tonnant qui y est emmagasiné n'est pas perdu : il est aspiré dans le cylindre pendant le premier temps du cycle suivant. Tout au plus pourrait-il y avoir une légère perte soit par suite du refoulement dans le tube d'un volume de mélange tonnant trop considérable dont une partie s'échapperait alors dans l'atmosphère, soit par suite de la diffusion de ce mélange dans l'air du tube et de là dans l'air ambiant. Mais il est évidemment facile d'empêcher le refoulement du mélange tonnant jusque dans l'atmosphère en donnant au tube un volume convenable, et, d'autre part, la pratique a montré qu'en donnant à ce tube une longueur suffisamment grande et un diamètre assez petit, le mélange tonnant reste séparé de l'air et qu'il n'y a pas diffusion. Le moteur Charon doit donc être économique puisqu'il n'y a pas de gaz perdu.

Il y a aussi lieu de remarquer qu'il y a toujours une course motrice du piston par cycle quelle que soit la charge du moteur, la variation de la puissance motrice moyenne suivant la charge se produisant non pas par des « passages à vide » ainsi que cela a lieu dans beaucoup des autres types de moteurs, mais par la variation du volume du mélange explosif. Il en résulte une grande régularité de marche, qualité fort appréciable dans la conduite des dynamos.

Divers types de moteurs Charon. — Le fonctionnement dont nous venons d'indiquer le principe a pu être réalisé avec des moteurs de puissances très diverses, allant de un demi cheval à 100 chevaux par cylindre.

Le type à cylindre vertical représenté par la figure 1 ne se construit que pour de faibles puissances : 0,6 cheval à 4 chevaux; la vitesse angulaire de ces moteurs est d'environ 250 tours : minute; ils pèsent en moyenne 350 kg par cheval.

Un autre type, dit type A, le premier créé, est à cylindre horizontal avec glissières et n'a qu'un seul volant; il est construit pour des puissances de 2 à 6 chevaux; la vitesse angulaire est de 160 à 180 tours : minute. Une modification dans la construction a conduit à un autre type, le type C, qui comprend 4 modèles de 8, 10, 12 et 16 chevaux.

Le type de forme très ramassée, à cylindre horizontal représenté par la figure 2 permet de réaliser des puissances de 1 cheval à 15 chevaux; la vitesse angulaire est encore d'environ 250 tours : minute; le poids décroît de 500 à 210 kg par cheval, à mesure que la puissance croît. La figure 3 représente le type adopté pour les moteurs de 8 à 30 chevaux avec vitesse angulaire, plus faible, de 190 à 180 tours : minute.

Les moteurs plus puissants sont construits suivant le type indiqué par la figure 4. Leur

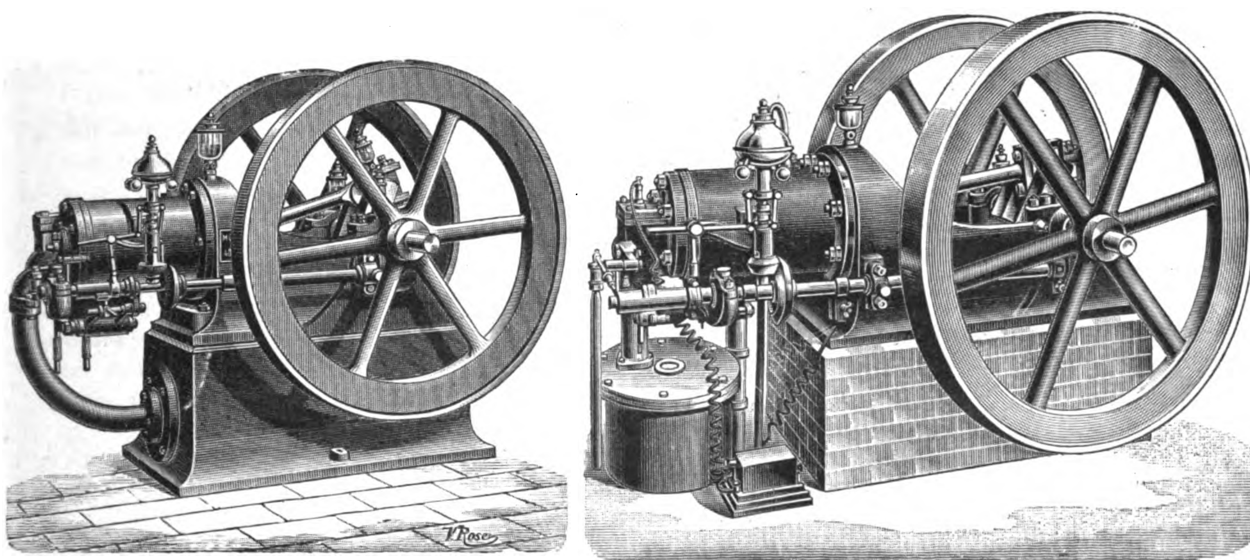


Fig. 2 et 3. — Moteur Charon, type E et G.

vitesse angulaire est de 150 tours : minute; leur poids de 300 à 160 kg par cheval suivant la puissance. Un moteur de ce type, d'une puissance de 60 chevaux, fonctionne à l'exposition de la Société générale des Industries économiques, dans les galeries La Bourdonnais, au Champ-de-Mars.

En réunissant sur un même bâti deux moteurs de ce type, on obtient ceux du type représenté par la figure 5. Ce sont deux moteurs de ce genre, d'une puissance de 60 chevaux chacun (30 chevaux par cylindre) qui, avec des dynamos à courant continu de la Compagnie Générale Electrique, de Nancy, constituent les deux seuls groupes électrogènes avec moteurs à gaz de l'usine La Bourdonnais, groupes destinés particulièrement à l'alimentation des moteurs électriques utilisés dans les appareils de manutention des usines Suffren et La Bourdonnais. Par la nature même de leur service ces moteurs ont été soumis à de fréquentes et brusques variations de charges; la façon très satisfaisante avec laquelle ils ont fonctionné depuis le jour de leur mise en marche, fin décembre dernier, est une preuve convaincante de leur robustesse en même temps que de leur souplesse [1].

[1] Beaucoup d'autres moteurs Charon de diverses puissances sont d'ailleurs en service ou simplement exposés

Description des moteurs Charon. — La description de chacun des types précédents nous entraînerait nécessairement à des redites nombreuses, ces divers types ne différant que par des détails de construction. Nous nous bornerons à la description des moteurs du type le plus récent et le plus puissant, ceux du type F, cette description s'appliquant d'ailleurs à ceux du type B qui, ainsi que nous venons de le dire, ne s'en distinguent que par le groupement de deux cylindres sur le même bâti.

---

dans l'enceinte de l'Exposition et de l'annexe de Vincennes. En voici la liste avec indication de leur emplacement :

Classe 20 (*Champ-de-Mars*). — Machines motrices diverses :

1	moteur de	100	chevaux type	B.	
1	—	60	—	E	avec dynamo correspondante et tableau.
1	—	40	—	F	— —
1	—	17	—	G	
1	—	10	—	G	avec dynamo correspondante et tableau.
1	—	6	—	E	
1	—	4	—	D	
1	—	2 1/2	—	D	
1	—	1/3	—	D	
1	—	1/2 cheval		D	
1	—	1	—	E.	

Classe 23 (*Champ-de-Mars*). — Galerie de l'Electricité :

Un groupe électrogène comprenant 2 moteurs de 60 chevaux B, 2 dynamos correspondantes, tableau de distribution, etc. Ce groupe électrogène fonctionne depuis décembre 1899 pour fournir le courant pendant le jour aux grues électriques de l'Exposition et pendant la nuit pour l'éclairage des travaux.

Classe 117 (*Champ-de-Mars*). — Palais des armées de terre et de mer :

1	moteur de	8	chevaux type	G	avec dynamo correspondante et tableau.
1	—	6	—	E	
1	—	2 1/2	—	D	
1	—	16 chevaux à pétrole.			

Exposition collective de l'industrie du gaz (*Champ-de-Mars*) :

1	moteur de	4	chevaux type	E
1	—	2 1/2	—	D

Classe 97 (*Invalides*). — Exposition de fonte et ferronnerie d'art :

1 moteur de 3 chevaux fonctionnant chez M. Rousseau, fondeur constructeur à Paris.

Classe 55 (*Champ-de-Mars*). — Matériels et procédés des industries alimentaires (ancienne galerie des machines de 1889). Exposition de la Maison A. Maguin à Charmes :

1	moteur de	1/2	cheval type	D
1	—	4	chevaux	D
1	—	3	—	E
1	—	8	—	C.

Exposition de Madagascar (*Champ-de-Mars*). — 1 moteur de 12 chevaux C, servant à actionner le tapis roulant de la maison Piat et fils.

Classe 6 (Enseignement spécial industriel et commercial). — Ecole nationale d'Arts et Métiers de Châlons :
1 moteur de 8 chevaux type B.

Ecole Nationale pratique d'ouvriers et de contremaîtres de Cluny :

1 moteur de 1 cheval type E.

Classe 20 (*Annexe de Vincennes*). — Moteurs à gaz pauvre et à pétrole :

1	moteur de	20	chevaux type	G	avec gazogène à anthracite.
1	—	50	—	F	—
1	—	16	—		à pétrole avec dynamo correspondante et tableau.
1	—	3	—		avec gazogène spécial.

Les figures 6 à 7 ci-jointes donnent une coupe longitudinale, une vue en plan et une élévation d'un moteur de 30 chevaux ainsi que des coupes de ses divers organes. On voit que le piston, articulé directement avec la bielle, a une longueur relativement considérable de façon à ne nécessiter aucun dispositif spécial de guidage.

Les organes de distribution, de régulation et d'allumage sont commandés par l'arbre horizontal O (fig. 7) relié à l'arbre moteur par un engrenage qui réduit la vitesse angulaire dans le rapport de 2 à 1, de telle sorte que cet arbre O fait un tour pendant la durée d'un cycle complet. Un régulateur à force centrifuge, à quatre boules, peut déplacer longitudinalement le long de cet arbre, au moyen de leviers, un manchon M portant deux cames de commande *g*, *b*.

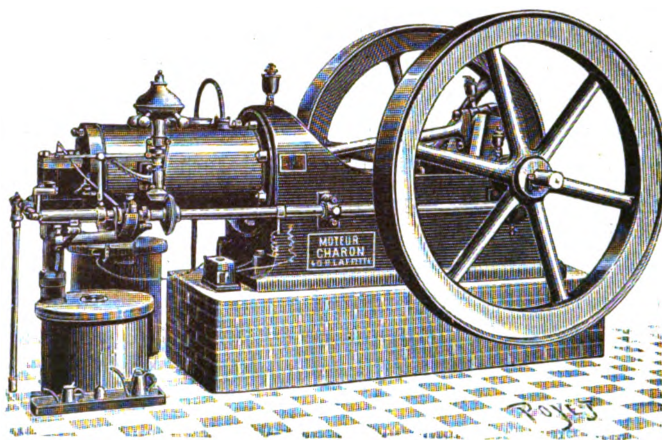
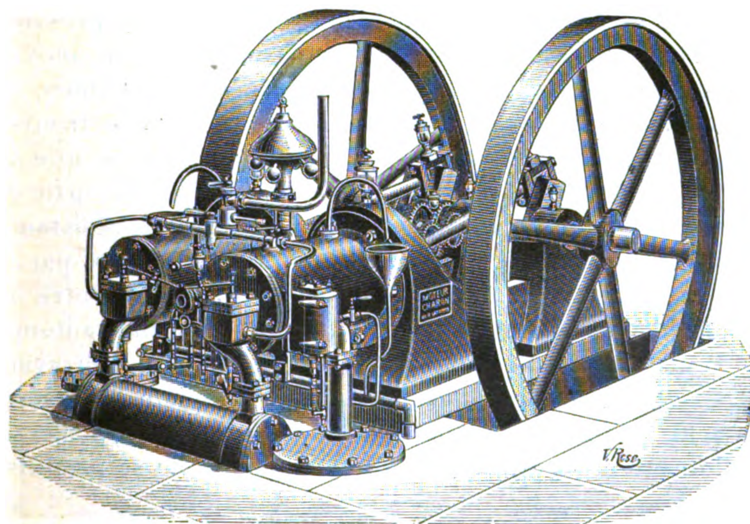


Fig. 4. — Moteur Charon, type F.

La première de ces cames agit, par l'intermédiaire d'une tige *g'* (fig. 8), sur la soupape d'arrivée du gaz. La boîte G qui la renferme (fig. 7 et 8), est mise en communication avec le tuyau d'amenée du gaz par un robinet H muni d'un index mobile sur un cadran divisé qui permet d'en régler l'ouverture suivant la puissance exigée du moteur; elle communique d'autre part, par l'intermédiaire de la tubulure *j* (fig. 15), avec la chambre B de la soupape d'admission. Les figures 11 à 14 représentent une vue en plan et diverses coupes de cette boîte et de la soupape d'arrivée du gaz; elles permettent de se rendre compte facilement du jeu de cette dernière soupape qui, comme nous l'avons dit en indiquant le principe de ces moteurs, n'est ouverte que pendant le premier temps du cycle.


Fig. 5. — Moteur Charon, type B.

La seconde came *b* commande, au moyen du levier *b'* (fig. 8), la soupape d'admission qui, rappelons-le, est ouverte pendant une fraction variable de la durée de la première et de la seconde phase du cycle; un ressort, visible sur la figure 8, tend à appuyer constamment cette soupape sur son siège (fig. 15). Le gaz arrive au-dessous d'elle par le conduit annulaire *j'* (fig. 15) percé de 48 trous. L'air est amené par le tuyau *a'* et le tuyau hélicoïdal ou serpentin; quant à ce dernier il est pratiquement constitué par un récipient en fonte A (fig. 7 et 8) de forme cylindrique dans lequel est placé un cylindre muni d'une saillie hélicoïdale qui vient toucher la paroi interne de A. L'aspiration de l'air

se fait par une ouverture *a* (fig. 8) percée dans le couvercle supérieur; une toile métallique à mailles fines et au besoin une couche d'ouate sont placées sur cette ouverture pour arrêter les poussières.

A la partie supérieure de la chambre de la soupape d'aspiration se trouve l'allumeur. Celui-ci se compose d'une tige métallique située suivant l'axe d'une bougie de porcelaine E (fig. 15) et d'une petite pointe située au-dessous de l'extrémité inférieure de cette tige et fixée par un support métallique aux parois de la boîte. Cette pointe se trouve ainsi en communication électrique avec la masse du moteur, et comme celle-ci est reliée d'une manière permanente avec l'un des pôles d'une petite bobine d'induction dont l'autre pôle est relié à la tige de la bougie, il suffit, pour obtenir une étincelle, de fermer au moment opportun le circuit primaire de la bobine. Pour cela l'un des pôles de la pile (deux éléments Delaurier) est relié à la masse du moteur tandis que l'autre est mis en communication avec un ressort isolé contre lequel vient appuyer une came *f* portée par l'arbre O; dès qu'il y a contact, le circuit primaire est fermé, des étincelles jaillissent et l'explosion du mélange tonnant se produit. On règle exactement l'instant du contact, et par suite de l'allumage en déplaçant le ressort par rapport à la came [1].

Une troisième came *d*, portée par l'arbre de distribution, commande par le levier oscillant *d'* (fig. 8) la soupape d'échappement contenue dans la boîte D (fig. 7, 16 et 17); un ressort, visible sur la figure 8, tend à fermer cette soupape et la came *d* ne l'ouvre que pendant la quatrième phase du cycle.

Démarrage et régulation. — Outre les divers organes que nous venons de décrire, un dispositif de démarrage est monté sur tous les moteurs dont les volants ont une masse trop grande pour qu'on puisse facilement effectuer leur mise en marche en les faisant tourner à la main. Ce dispositif consiste en un récipient capable de supporter une pression d'une vingtaine d'atmosphères et de la tuyauterie nécessaire pour y comprimer, au moyen du moteur lui-même, de l'air à une dizaine d'atmosphères. Il suffit de mettre le cylindre en communication avec ce réservoir pour lancer le piston, qui nécessairement doit se trouver dans une position favorable et correspondant au troisième temps du cycle. Dès que le piston est arrivé au bout de sa course, on ferme l'arrivée de l'air comprimé et en vertu de la vitesse acquise par le volant, le piston revient sur lui-même sans rencontrer de résistance autre que celle due aux frottements, la soupape d'échappement étant alors ouverte par la came qui la commande. A partir de ce moment, le mécanisme de la distribution entre en jeu, les explosions se produisent, et peu à peu le moteur atteint sa vitesse normale automatiquement. Toutefois, comme dans la marche normale l'allumage est produit un peu avant que le piston soit à l'extrémité de sa course, afin que l'explosion soit complète à l'instant où le piston part en avant, il convient, pendant la période de démarrage, de déplacer le ressort de contact commandant l'allumage de manière à ce que l'explosion ne se produise

[1] Ce déplacement se fait à la main et doit être effectué chaque fois que la charge du moteur subit une variation notable et durant quelque temps. On avait songé tout d'abord à effectuer le réglage de l'allumage par le régulateur à force centrifuge. Dans ce but le manchon M portait une came à gorge *e* (fig. 7), sur laquelle s'appuyait l'extrémité, en forme de fourche, d'un levier *e'* (fig. 7 et 8) appuyant sur la partie métallique de la bougie F. Celle-ci se trouvait ainsi mise en communication avec la masse du moteur, ce qui fermait le circuit secondaire par cette masse, et dès lors aucune étincelle ne pouvait jaillir à l'allumeur même quand, la came *f* se trouvant en prise avec le ressort de contact, le circuit primaire était fermé. Pour qu'une étincelle jaillisse il fallait que le levier *e'* cessât d'appuyer sur l'allumeur, ce qui arrivait pour une certaine position de la came *e*. La position et la forme de la came *f* étaient alors calculées de façon à ce que le contact de cette came avec le ressort se fît un peu avant le moment prévu pour l'allumage et se maintînt pendant quelque temps.

A cause de sa complication ce dispositif a été abandonné.

Fig. 6 — Moteur Charon de 3o chevaux, type F, coupe longitudinale.

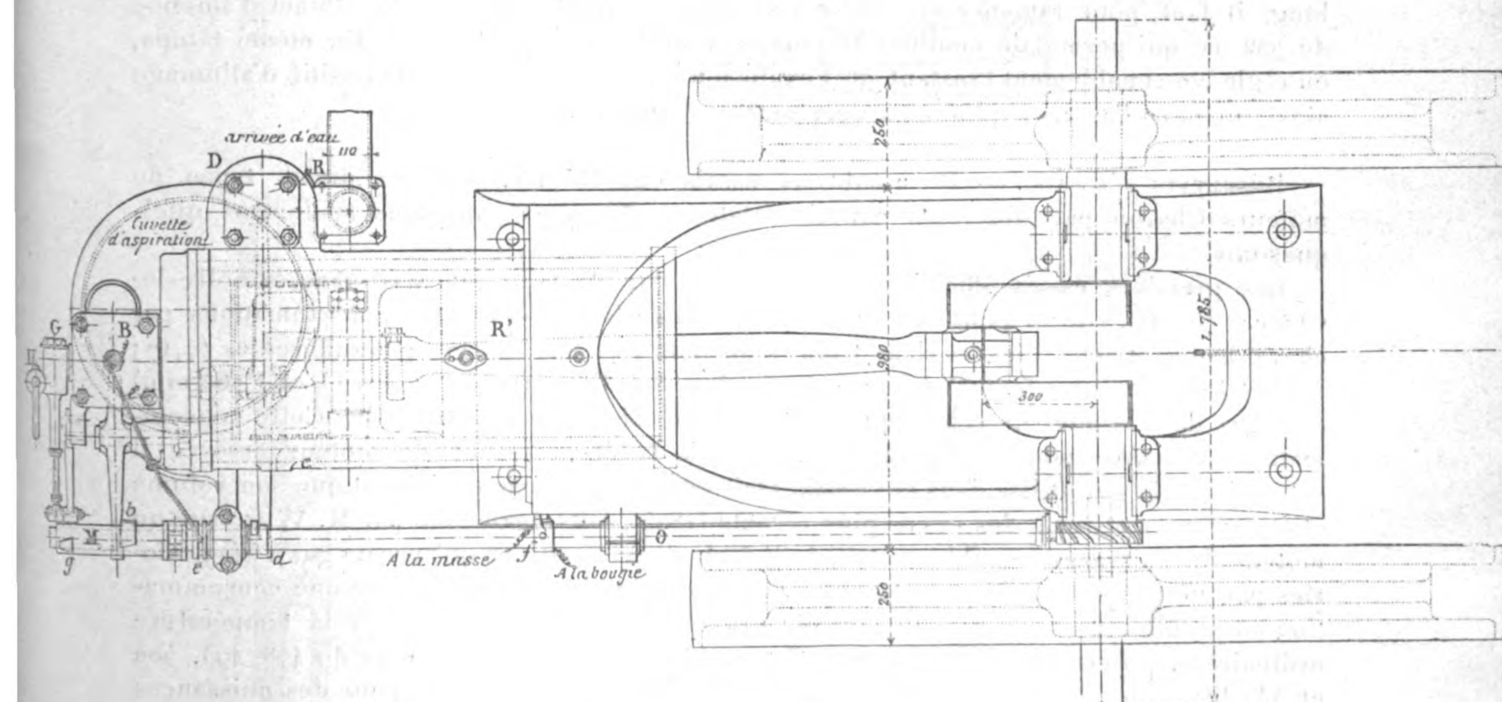


Fig. 7. — Moteur Charron de 3o chevaux, type F, vue en plan.

***

pas prématurément, mais bien lorsque le piston a dépassé le point mort. Dès que la vitesse de régime est atteinte, on ferme le robinet d'amenée du gaz et, après que les gaz de la combustion ont été expulsés, on met la boîte d'échappement en communication avec le récipient à air comprimé ; l'air aspiré par le piston pendant le premier temps du cycle est refoulé dans le récipient pendant le deuxième ; dès que la pression dans ce récipient a atteint la valeur voulue, on arrête la compression de l'air, on ouvre le robinet d'amenée du gaz, et le moteur reprend sa marche dans les conditions normales. Le mécanicien a toujours ainsi une réserve d'air comprimé, réserve qui généralement est suffisante pour trois ou quatre démarrages.

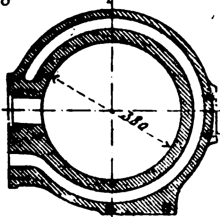
Quant à la régulation de la vitesse en marche sous charge variable, elle résulte de la forme donnée aux surfaces des cames commandant les soupapes d'amenée du gaz et d'admission. S'il survient un accroissement de vitesse provoqué par une diminution de la charge, le régulateur se soulève et fait glisser, de gauche à droite, le manchon M ; par suite de la conicité donnée à la surface de la came *g*, c'est une partie plus étroite de cette came qui se présente devant la tige *g'* de la soupape d'amenée du gaz et cette soupape reste ouverte moins longtemps ; la conicité de la came *b* qui commande la soupape d'admission étant inverse, cette soupape reste, au contraire, ouverte plus longtemps et elle laisse refluer une plus grande quantité de mélange explosif dans le serpentin A. Au ralentissement résultant d'une augmentation de la charge, des effets inverses se produisent. Dans les deux cas, la détente variable des gaz de l'explosion est donc assurée automatiquement suivant les besoins.

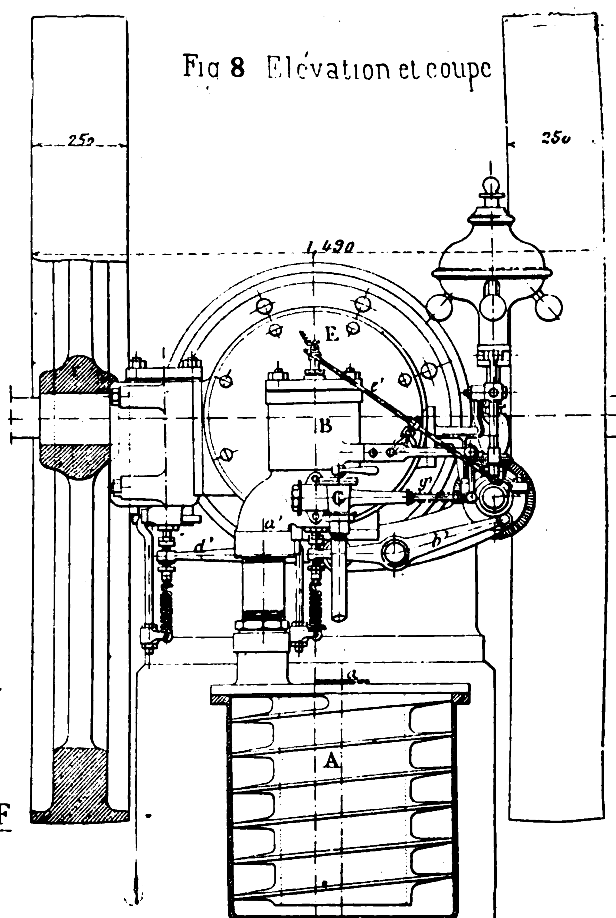
Il est évident d'ailleurs que cette régulation automatique ne peut s'exercer qu'entre certaines limites de charge, d'ailleurs très espacées. Si la variation de la charge est trop considérable et si la nouvelle valeur de la charge se maintient pendant un temps assez long, il faut, pour ramener la vitesse à sa valeur normale, agir sur le robinet d'amenée du gaz, ce qui permet de modifier la composition du mélange tonnant. En même temps, on règle convenablement l'instant de l'explosion en agissant sur le dispositif d'allumage ainsi que nous l'avons expliqué en décrivant ce dispositif.

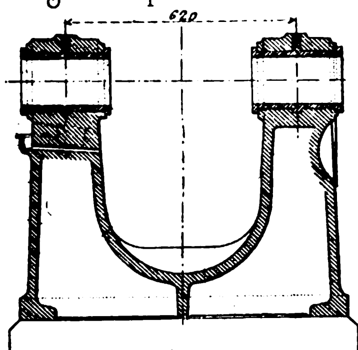
Résultats d'essais. — De nombreux essais ont été faits sur les divers types de moteurs Charon par différents expérimentateurs. Nous en rappelons seulement quelques-uns.

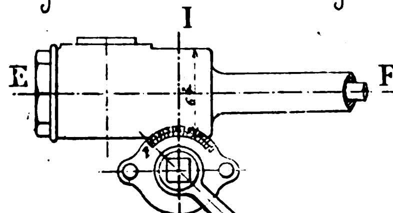
Les premiers essais officiels furent exécutés par M. Witz, en avril 1889, à Solre-le-Château (Nord), sur un petit moteur de 4 chevaux ; la moyenne des consommations par cheval-heure effectif relevées dans trois essais faits avec des charges peu différentes (4,17 ; 4,18 et 4,20 chevaux-effectifs) fut trouvée égale à 520 litres (mesurés à 0° C et à 760 mm) d'un gaz dont le pouvoir calorifique était de 5880 calories par mètre cube. Cette consommation est remarquablement petite, surtout vu la faible puissance du moteur essayé ; il est vrai que le gaz utilisé dans ces essais était exceptionnellement riche et que son volume était ramené à 0°, mais des essais plus récents (1895), faits également par M. Witz, sur un moteur de puissance sensiblement égale (4,5 chevaux) montrent qu'avec un gaz à 5429 calories par mètre cube (à 15° et à 760 mm), on peut maintenant compter sur une consommation aussi faible avec un gaz de pouvoir calorifique moyen et mesuré à la température ordinaire. Ces derniers essais ont, en effet, conduit à des consommations de 478, 493, 509 et 532 litres de gaz (à 15° et à 760 mm) par cheval-heure indiqué pour des puissances respectives de 4,71 chevaux, 4,50 chevaux, 4,31 chevaux et 3,39 chevaux indiqués.

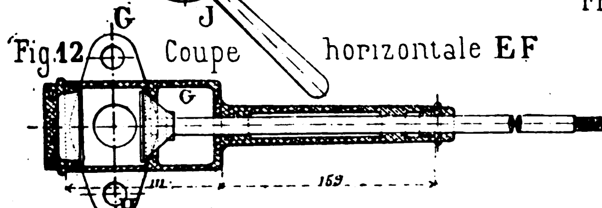
Un moteur de 10 chevaux essayé à Saint-Etienne, en mars 1897, par M. Rateau, consom-

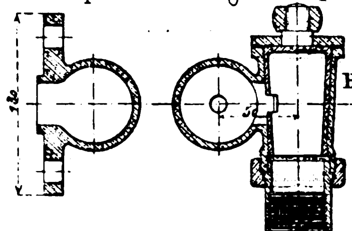

Fig 9 Coupe suivant AB
180

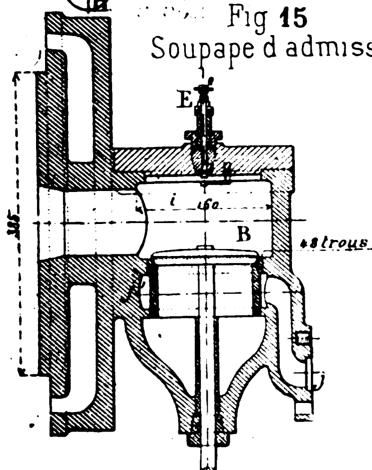

Fig 8 Elévation et coupe
250
250
1,490
E
B
C
A
d'
a'


Fig.10 Coupe suivant CD
620


Fig 11 Plan du robinet a gaz
I
E
F
J


G
Fig.12 Coupe horizontale EF
G
H
159


Fig.13 Coupe GH
Fig.14 Coupe IJ
H


Fig 15
Soupape d admission
E
i
160
B
48 trous

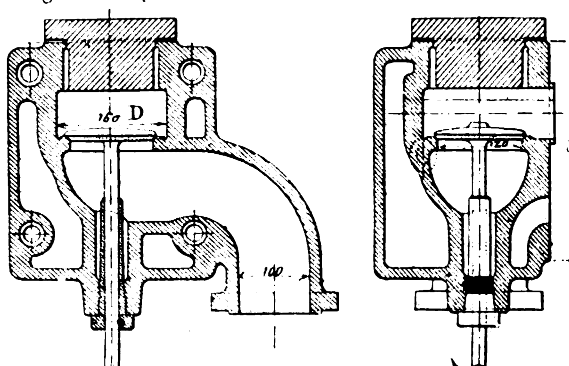

Fig 16 Coupes de la soupape d'echappemt Fig 17
160 D
140

Fig. 8 à 17.

mait à pleine charge (10,36 chevaux) un volume de gaz, ramené à 0° et à 760 mm, de 472 litres par cheval-heure effectif.

Des essais faits à Marseille, en avril 1894, par MM. Costa, Devaux, Roubieu et Vialet, sur un moteur d'une puissance nominale de 18 chevaux, ont montré que sous la charge normale (18,14 chevaux) la consommation était de 510,9 litres (à 11° C et à 760 mm) par cheval-heure et descendait à 492,1 litres quand la charge était portée à 20 chevaux.

Des consommations de 466 litres et de 458 litres (à 15° C et à 760 mm) par cheval-heure effectif furent relevées, en juin 1892, sur des moteurs de 25 chevaux, à 2 cylindres, servant à l'éclairage électrique du bassin de La Pallice, à La Rochelle, la puissance fournie par le moteur étant respectivement de 24,93 et de 27,83 chevaux effectifs; des relevés de diagrammes faits sous cette dernière charge montrèrent que la puissance moyenne indiquée était alors de 30,33 chevaux, ce qui donne 0,917 pour le rendement organique du moteur essayé.

Passant aux moteurs plus puissants, nous signalerons les essais faits en 1894, par M. Allaire, et ceux, plus récents, faits en 1897 par M. Rateau sur deux moteurs de 50 chevaux à un seul cylindre. D'après les premiers, la consommation décroît de 538 à 480 litres (à 19° C) par cheval-heure effectif quand la puissance fournie par le moteur croît de 49,5 à 58,3 chevaux; d'après les seconds la consommation est de 444 litres (à 0° C et à 760 mm) par cheval-heure pour une puissance de 49,8 chevaux.

Parmi les essais portant sur des moteurs du type B, à deux cylindres, d'une puissance nominale de 60 chevaux, nous citerons ceux faits, en mars 1895, par M. Witz et qui ont donné les résultats suivants :

Durée de l'essai	1 h	2 h 30	1 h	1 h	1 h
Nombre de tours par minute	152,23	153,22	155,07	154,20	153, 77
Consommation par cheval-heure	419 l	407 l	446 l	539 l	663 l
Puissance effective	61,89 ch	60,42 ch	53,35 ch	41,8 ch	29,82 ch

Les volumes gazeux sont ramenés à 0° C et à 760 mm; le pouvoir calorifique du gaz employé dans les deux premiers essais était de 5842 calories par mètre cube, celui du gaz employé dans les trois autres était de 5591 calories par mètre cube.

D'autres essais ont été faits, en 1897, sur ces moteurs de 60 chevaux, les uns à Bordeaux, les autres à Tergnier; les premiers indiquent une consommation de 466 litres, les autres une consommation de 469 litres par cheval-heure pour une puissance égale ou peu différente de la puissance nominale; malheureusement dans aucun de ces essais le pouvoir calorifique du gaz n'a été déterminé. Les essais de Tergnier exécutés par MM. Ranciat et Descamps nous apportent cependant un renseignement nouveau : la consommation d'eau pour le refroidissement du cylindre est d'environ 25 litres par cheval-heure et est sensiblement indépendante de la charge du moteur.

On peut conclure de l'ensemble de ces essais que pour les moteurs d'une puissance supérieure à 10 chevaux la consommation par cheval-heure est, pour la pleine charge, inférieure à 500 litres de gaz de ville d'un pouvoir calorifique moyen.

Si l'on emploie pour l'alimentation un gaz autre que le gaz de houille servant à l'éclairage, la consommation augmente nécessairement en même temps que le pouvoir calorifique du gaz diminue. Ainsi avec le gaz Riché d'un pouvoir calorifique de 3000 calories environ la consommation d'un moteur de 12 chevaux est d'environ 1000 litres par cheval-heure[1];

[1] En réglant le moteur avec soin on a pu abaisser cette consommation à 807 litres (voir *L'Écl. Élect.*, t. XVII, p. 289, 12 novembre 1898, article sur le « Gazogène Riché »).

avec les gaz pauvres dont le pouvoir calorifique varie de 1 200 à 2 000 calories, la consommation peut atteindre 2 000 litres et plus par cheval-heure. Mais dans l'un et l'autre cas le prix de revient du cheval-heure est extrêmement faible : avec le gaz Riché il est au plus 0,02 fr le cheval-heure soit le prix de revient moyen d'un mètre cube de gaz et avec les gaz pauvres d'un gazogène à anthracite il peut descendre encore légèrement au-dessous de ce chiffre, la Société générale des Industries économiques garantissant une consommation d'au plus 450 gr d'anthracite par cheval-heure effectif.

L'alimentation par de l'air carburé par des vapeurs de pétrole au moyen d'un carburateur est également économique ; avec de l'essence de pétrole de densité 0,700, la consomtion est d'environ 450 gr par cheval-heure.

Ajoutons, pour en terminer avec ce qui concerne les essais, que les mesures de vitesse angulaire faites par M. Witz sur des moteurs alimentés au gaz de ville, ont montré que la variation de vitesse angulaire produite par une variation de charge égale à la moitié de la charge normale est inférieure à 2 p. 100. La marche de ces moteurs est donc extrêmement régulière. Elle ne l'est pas moins lorsque l'alimentation est faite aux gaz pauvres.

Applications a la production de l'électricité. — De nombreuses installations d'éclairage électrique où la force motrice est produite par des moteurs Charon ont été exécutées dans ces dernières années par la Société générale des Industries économiques. Ne pouvant les citer toutes, signalons les plus intéressantes.

Parmi les plus anciennes se trouve l'installation de l'éclairage par lampes à arc du port de La Pallice, à la Rochelle, qui remonte à 1892 et qui comprend deux moteurs de 25 chevaux à deux cylindres.

Plus récemment, en 1896, une installation plus importante a été exécutée à l'Imprimerie Nationale. Par suite des mauvaises conditions hygiéniques de cet établissement, installé rue Vieille du Temple dans l'ancien hôtel de Rohan, il était devenu indispensable de remplacer l'éclairage au gaz par l'éclairage électrique ; mais il fallait que cette substitution s'effectuât sans grever le budget de l'établissement. Pour résoudre ce problème, d'une solution assez difficile cependant, la Société générale des Industries économiques proposa de faire l'installation nouvelle à ses frais, de l'exploiter elle-même pendant treize ans et de l'abandonner au bout de ce temps à l'Imprimerie Nationale moyennant le paiement par celle-ci de 13 annuités un peu inférieures à sa dépense annuelle de gaz d'éclairage (120 000 à 130 000 fr). Cette proposition ayant été acceptée, une véritable usine, comprenant 5 moteurs Charon de 45 chevaux chacun et 5 dynamos Fives-Lille, fut installée dans une cave exiguë de l'Imprimerie Nationale. Depuis sa mise en marche cette installation fonctionne d'une façon très satisfaisante et la Société générale des Industries économiques compte bien en retirer le bénéfice auquel elle a légitimement droit bien qu'il lui faille amortir son capital de premier établissement en treize ans, ce qui prouve qu'il est quelquefois plus avantageux de brûler le gaz dans les moteurs que de le brûler dans des becs pour faire de l'éclairage.

Une autre installation intéressante est celle qui existe à l'usine créée en vue de l'exécution du premier lot du Métropolitain ; elle comprend 2 moteurs type F de 50 chevaux chacun et un moteur type B de 25 chevaux ; elle fournit l'éclairage et la force motrice.

A Bruxelles, 2 moteurs de 100 chevaux chacun, type B, sont installés à l'usine à gaz pour l'éclairage par l'électricité.

Dans le même ordre d'idées signalons l'installation d'éclairage du Casino de Saint-Malo qui présente cet intérêt particulier que les moteurs, au nombre de deux et d'une puissance de 34 chevaux chacun, sont alimentés avec du gaz pauvre de gazogène à anthracite.

Une autre installation de moteurs à gaz pauvre, beaucoup plus importante et actuellement en cours d'exécution dans la nouvelle usine que crée à Saint-Ouen la Compagnie des tramways de Paris et du département de la Seine, montre que les moteurs à gaz peuvent lutter avantageusement avec les moteurs à vapeur pour la production de l'énergie nécessaire à la traction. Cette usine comprendra 5 moteurs : 3 de 120 chevaux du type B, et 2 de 60 chevaux du type F. La consommation maximum garantie est de 450 gr d'anthracite par cheval-heure effectif.

Ces quelques exemples suffisent nous semble-t-il pour justifier ce que nous avancions au commencement de cet article, en disant que les moteurs Charon conviennent fort bien pour la conduite des dynamos.

J. Blondin.

SYSTÈMES DE TÉLÉGRAPHIE RAPIDE (1)

MODES DE FORMATION DES SIGNAUX DANS LA TÉLÉGRAPHIE ÉLECTRIQUE

TÉLÉGRAPHES A AIGUILLES

Télégraphe d'Ampère. — Lorsque la pile fut découverte et les réactions électro-magnétiques connues, on trouva en elles des éléments de signaux d'une distinction assez facile et d'une transmission assez prompte pour faire présager la solution définitive de la télégraphie électrique dans un avenir peu éloigné.

C'est Ampère, qui, en 1821, vingt-deux ans après la découverte de la pile par Volta et un an après la découverte de la science électro-magnétique engendrée par l'importante découverte faite par Œrsted en 1820 de l'action des courants électriques sur l'aiguille aimantée, imagina le premier système de télégraphie électrique et ouvrit cette voie aux investigations des savants ; mais comme les choses les plus simples ne se trouvent généralement qu'après avoir épuisé les combinaisons les plus compliquées, la première idée qui devait se présenter et se présenta en effet, fut d'employer un nombre de circuits égal au nombre des signaux à transmettre.

Le télégraphe d'Ampère se composait d'aiguilles aimantées placées sur des pivots.

Le nombre des aiguilles aimantées était égal au nombre des signaux à transmettre. Chacune d'elles était placée à proximité d'un circuit spécial composé de 2 fils qui permettaient au courant qui les traversait alternativement de réagir sur l'une ou l'autre d'entre elles en les faisant dévier de leur position d'équilibre.

Chaque circuit était formé de 2 fils, aller et retour, parce que non seulement la terre n'était pas connue comme fil commun de retour, mais on n'avait même pas eu la pensée de n'utiliser qu'un fil de retour pour tous les circuits.

Dans ces conditions il fallait 50 fils pour désigner les 25 lettres de l'alphabet !... mais on ne tarda pas à supprimer la moitié des fils des circuits en prenant un fil unique pour le retour du courant.

En 1831, Sœmering employa 36 fils dont 25 pour les lettres, dix pour les chiffres et 1 de retour.

On obtint le même résultat avec 26 fils en convenant de représenter les chiffres par des lettres. Ceci ne paraît-il pas un premier acheminement vers les signes convention-

---

(1) Voir *L'Éclairage Électrique* du 19 mai, p. 241.

nels qui joueront bientôt le principal rôle dans la télégraphie électrique, car ils en formeront la base même ? — Nous verrons bientôt que, dans cette voie, on arrivera non seulement à réduire à *un seul* le nombre des conducteurs, mais encore à renverser les rôles, c'est-à-dire à faire remplir à un seul fil l'office de plusieurs. Etant données les exigences de la pratique, c'est en effet sur la réduction du nombre des fils que se concentreront constamment tous les efforts et toute l'activité des inventeurs parce que la plus grande dépense correspond précisément à l'établissement de ces fils.

Courant positif et courant négatif. Les trois états de la ligne. — Avant d'aller plus loin nous devons faire remarquer qu'il y a deux espèces de courants électriques, dont l'un est appelé *positif* et l'autre *négatif*, ce qui permet de mettre un même fil dans trois états différents : *neutre*, *positif*, *négatif*. Cette particularité ne pouvait échapper aux inventeurs et elle leur servit rapidement à réduire d'abord de moitié le nombre des fils en faisant entrer dans l'interprétation des signaux le sens de la déviation de l'aiguille (fig. 1) sens qui dépend de la direction du courant dans le circuit.







Fig. 1.

Par ce moyen, le nombre des fils pouvait déjà être réduit à 14 dont 13 pour les lettres et les chiffres et 1 de retour.

En 1832, le baron de Schilling, de Saint-Pétersbourg, auquel on attribue un plan qui cousistait à se servir de 36 aiguilles et de 72 fils, (ce qui laisserait supposer qu'il ignorait les réductions de fils opérées en 1831) paraît en avoir proposé un autre beaucoup plus important et qui consistait à se servir d'une seule aiguille avec laquelle il faisait des signaux composés de déviations à droite et à gauche répétées un certain nombre de fois dans un sens et dans l'autre et combinées dans les deux sens.

Ainsi une déviation à droite pouvait signifier A, deux dans le même sens B, une à droite et une à gauche C, etc.

Sa table de manipulation pourrait s'indiquer de la manière suivante en désignant par exemple les déviations à droite par le signe + et les déviations à gauche par le signe —.

Gauche Droite

— +

De 1 à 5 battements

A				+	
B			+	+	
C			—	+	
D		—	+	+	
E		—	—	+	
F		+	—	+	
G		+	+	+	
H	—	+	—	+	
I	—	—	+	+	
J	+	—	—	+	
K	+	—	+	+	
L	+	+	—	+	
M	—	—	—	+	
N	+	+	+	+	
O	—				
P	—	—			
Q	—	+			
R	—	+	+		
S	—	—	+		
T	—	+	—		
U	—	—	—		
V	—	+	—	+	
W	—	—	+	+	
X	—	+	+	—	
Y	—	+	—	—	
Z	—	—	—	—	
1	+	—	+	+	+
2	+	—	—	+	+
3	+	—	—	—	+
4	+	+	+	—	+
5	+	+	—	—	+
6	—	+	—	—	—
7	—	+	+	—	—
8	—	+	+	+	—
9	—	—	—	+	—
0	—	—	+	+	—

Dans le tableau ci-contre, le nombre des mouvements tant de droite que de gauche, est limité à 4 pour les lettres et à 5 pour les chiffres ; mais le nombre des arrangements ou combinaisons possibles avec 4 battements d'aiguille à droite et à gauche en les combinant entre eux autant de fois que cela est possible est beaucoup plus élevé que le nombre des lettres et des chiffres réunis. Il est de $3^4 - 1$ comme on le verra lorsque nous exposerons les systèmes de numération qui servent de base à la formation des alphabets télégraphiques.

Il était donc inutile d'employer 5 battements pour les chiffres comme l'indique Schilling.

En 1833, les professeurs Gauss et Weber de Gœttingen, se servirent également d'une seule aiguille, mais leur manuel de transmission différait sensiblement de celui de Schilling. Le nombre des variations était régulièrement de 5 pour toutes les lettres.

Si nous convenons de représenter, comme nous l'avons fait pour le tableau de Schilling,

par le signe + les déviations à droite et par le signe — les déviations à gauche, les 5 signes + + + + + pourraient signifier A, les 5 + + + + — B, + + + — + C et ainsi de suite ; mais dans ce cas, le nombre des arrangements ou combinaisons à obtenir avec les deux signes + et — répétés 5 fois est limité à $2^5 - 1$ [1] ce qui met dans la nécessité soit de représenter les chiffres par des lettres, soit de réduire à 22 les signes de l'alphabet afin de garder 10 arrangements pour les chiffres comme l'indique le tableau ci-contre.



Cinq battements.

A	+	+	+	+	+
B	+	+	+	+	—
C	+	+	+	—	+
D	+	+	—	+	+
E	+	—	+	+	+
F	—	+	+	+	+
G.J	—	—	—	—	—
H	—	—	—	—	+
I.Y	—	—	—	+	—
K	—	—	+	—	—
L	—	+	—	—	—
M	+	—	—	—	—
N	+	+	—	—	—
O	+	+	+	—	—
P	+	—	+	+	+
Q	+	+	—	+	+
R	+	+	—	—	+
S Z	—	—	—	+	+
T	—	—	+	+	+
U	—	+	+	—	—
V	—	+	—	—	—
W	—	+	+	+	—
1	—	+	—	+	—
2	—	—	+	—	+
3	—	+	+	—	+
4	—	+	—	+	+
5	—	+	—	—	+
6	+	—	—	—	+
7	+	—	—	+	+
8	+	—	+	+	—
9	+	—	—	+	—
0	+	—	+	—	—

En présence des tableaux de manipulation des appareils imprimeurs multiples actuels, ces manuels de transmission sont véritablement suggestifs, mais ils sont dans un état de chaos d'où nous ne les verrons sortir que quarante ans plus tard environ avec MM. Mimault et Baudot [2] agents des télégraphes français, puis quelques années plus tard encore avec M. Munier [3] également agent des télégraphes français, malgré les travaux de MM. Wheatstone en 1837-1838, Davy 1838, Highton en 1848 et Whitehouse en 1855 qui tombèrent à leur tour dans l'oubli, sans doute parce qu'ils ne donnaient pas la solution pratique qui convenait aux appareils basés sur ces sortes d'arrangements.

Tous ces systèmes avaient en effet recours à l'emploi simultané de plusieurs fils, les uns pour faire des signaux fugitifs en se servant d'aiguilles, ce qui limitait fatalement le rendement à un trop petit nombre de signaux étant donné le matériel de ligne utilisé ; les autres en produisant des traces sur le papier ce qui compliquait les appareils sans augmenter la vitesse dans de notables proportions, car la traduction des traces ne devait pas être sensiblement plus rapide que celle des signaux fugitifs et entraînait des complications mécaniques qui paraissent la cause principale de leur abandon.

Comme nous venons de le voir, la pratique n'avait pas tardé à démontrer qu'en faisant intervenir dans l'interprétation des signaux le nombre des battements des aiguilles, on pouvait avec une seule aiguille composer un alphabet d'une interprétation assez facile et d'une transmission suffisamment rapide.

Néanmoins, après les tentatives de Schilling en 1832 et de Gauss et Weber en 1833, restées infructueuses pour des causes que nous n'avons pas à examiner ici, mais qui paraissent tenir à l'extrême lenteur et à la difficulté de la lecture avec de semblables moyens, il nous aut, avant de voir un système de télégraphe quelconque entrer dans le domaine de la pratique, attendre jusqu'en 1838 époque à laquelle M. Wheatstone par une ingénieuse combinaison de *directions simultanées données à deux aiguilles à la fois* ramène à 5 le nombre des aiguilles aimantées et à 6 le nombre des fils dont 1 de retour; la terre n'étant pas encore utilisée comme fil conducteur de retour.

C'est ce télégraphe qui fut installé sur la première ligne télégraphique en Angleterre.

La figure 2 nous donne un aperçu de cette ingénieuse disposition et le tableau de mani-

(1) Ce que nous démontrerons plus loin lorsque nous exposerons les systèmes de numération.

(2) Tableaux basés sur la numération binaire.

(3) Tableaux basés sur la numération ternaire avec division de l'alphabet en séries.

pulation nous fait voir que chaque signal était formé de deux émissions au maximum et que ces deux émissions étaient régulièrement de signes contraires. M. Wheatstone ajouta à son appareil une *sonnerie* fonctionnant sous l'influence d'un *électro-aimant* ce qui était une grande nouveauté pour l'époque ; cette sonnerie fut même l'occasion de l'une des plus importantes découvertes faites dans la télégraphie électrique, celle des *relais*.

TABLEAU WHEATSTONE 1837
30 combinaisons
Six fils dont 1 de retour
Chaque combinaison avec 2 aiguilles

	6	1	2	3	4	5
A		+				—
B		+			—	
D			+			—
E		+		—		
F			+		—	
G				+		—
H		+	—			
I			+	—		
K				+	—	
L					+	—
M		—	+			
N			—	+		
O				—	+	
P					—	+
R		—		+		
S			—		+	
T				—		+
V		—			+	
W			—			+
Y		—				+
1	—	+				
2	—		+			
3	—			+		
4	—				+	
5	—					+
6	+	—				
7	+		—			
8	+			—		
9	+				—	
0	+					—

UTILISATION DE LA TERRE COMME FIL COMMUN DE RETOUR. — PREMIÈRES TRACES DE LA DÉPÊCHE SUR UNE BANDE DE PAPIER. — Pendant que M. Wheatstone faisait en Angleterre les essais de son télégraphe, M. Steinheil à Munich, faisait de son côté des expériences avec un télégraphe de son invention qui pouvait fonctionner non seulement avec un seul circuit, mais encore *laisser sur une bande de papier des traces de la dépêche envoyée*.

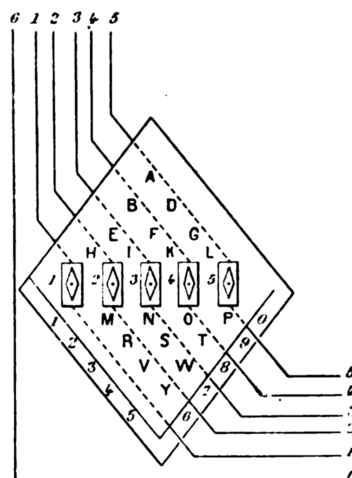


Fig. 2.

De plus cet appareil pouvant être mis en jeu sans pile au moyen *d'une machine magnéto-électrique*. Ce fut pendant ces expériences que M. Steinheil fit la découverte si importante de *l'introduction de la terre* (¹) dans le circuit, découverte qui résolvait définitivement le problème de la télégraphie électrique.

A partir de cette époque, le nombre des fils nécessaires à la télégraphie est finalement réduit à un et les efforts des inventeurs se porteront tous à l'avenir sur l'augmentation de la rapidité dans la transmission.

LE TÉLÉGRAPHE MORSE

ALPHABET MORSE. — L'importante découverte d'Œrsted relative à l'action du courant électrique sur l'aiguille aimantée fut suivie la même année d'une plus importante encore, due à Arago, relative au pouvoir que possède le courant électrique de développer le magnétisme dans le fer ou dans l'acier. Cette découverte engendra *l'électro-aimant*.

Nous venons de voir que tous les systèmes de télégraphes imaginés en Europe à la suite de la découverte d'Œrsted faisaient usage de l'aiguille aimantée pour produire leurs signaux.

(¹) Franklin semble être le premier ou un des premiers qui se soit servi de la terre. Bain, le premier, se servit de la terre comme source d'électricité en même temps que comme conducteur ; mais M. Morse paraît avoir utilisé la terre comme moitié de circuit dès le commencement de ses travaux.

Il n'en était pas de même en Amérique où M. Morse qui, dès 1832, à bord du paquebot le *Sully*, à son retour d'un voyage en France, avait conçu l'idée de son télégraphe, ne chercha jamais à se servir de l'aiguille aimantée, mais au contraire du *pouvoir attractif de l'électro-aimant pour écrire en caractères lisibles.*

C'était, comme on en jugera, l'ouverture d'une ère nouvelle autant que féconde pour la télégraphie.

L'alphabet télégraphique qu'il imagina en vue d'utiliser le pouvoir attractif de l'électro-aimant est composé de *points* et de *traits* combinés longitudinalement de la manière suivante · — · — — . . — etc.

Cet alphabet se forme donc à l'aide de deux signes élémentaires : un, désigné sous le nom de *point*, est produit par une émission brève, l'autre, désigné sous le nom de *trait ou barre* est produit par une émission prolongée d'une durée approximativement triple de la première.

Ces deux signes, ainsi différenciés par leur durée, sont assez dissemblables pour qu'ils ne puissent être confondus.

Le nombre de combinaisons différentes qui peuvent être faites dans ces conditions est incommensurable.

M. Morse forma son tableau de signes en choisissant les combinaisons les plus simples pour représenter les lettres et les chiffres.

De cette façon il put facilement réunir 36 combinaisons dont 26 pour les lettres et 10 pour les chiffres sans dépasser le nombre de 6 points ou barres par combinaison, ce qui lui donnait, au maximum, 6 battements d'armature pour un signal.

Afin de ne se servir que d'un seul fil il disposa ses combinaisons de points et de traits sur une seule ligne longitudinale comme nous l'avons vu plus haut et il composa son alphabet de la manière suivante :

· —	···· · ·	· · ·	— · ·	·	· — ·	— — ·	· · · ·	· ·	— · — ·	— · —	—	— —
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M

— ·	· ·	· · · · ·	· · —	· · ·	· · ·	—	· · —	· · · —	· — —	· — · ·	· · · ·
N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y

· · · ·	· — — ·	· · — · ·	· · · — ·	· · · · —	— — —	· · · · · ·	— — · ·	— · · · ·	— · · —	—
Z	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0

Il imagina en outre une foule de plans pour réduire l'alphabet à la forme la plus simple.

Il s'arrêta longtemps parait-il à un plan qui consistait à se servir des 26 lettres de l'alphabet ordinaire en attachant un fil à chacune d'elles.

Il essaya aussi diverses combinaisons où les lettres communes étaient envoyées par un seul conducteur en attachant à la machine 2, 3, 4, 5 et 6 fils ; mais il repoussa tous ces plans parce qu'*ils ne possédaient pas la simplicité*, élément essentiel de son idée.

Le premier alphabet Morse fut modifié par l'Union télégraphique austro-allemande et remplacé par celui qui est actuellement en usage dans le monde entier.

RAPIDITÉ DE LA TRANSMISSION AVEC LES SIGNAUX MORSE. — La rapidité de la transmission ou autrement dit le rendement d'un fil avec l'appareil Morse est subordonnée à des pertes de temps inéluctables et dont la durée est plus ou moins grande suivant l'habileté des opérateurs.

Ces pertes de temps se décomposent de la manière suivante, le point étant pris comme unité de temps :

1° La durée d'une barre qui est trois fois celle d'un point.

2° L'espace à laisser entre les points et les barres ou autrement dit entre les éléments d'un même signal, cet espace est de la moitié d'une barre.

3° L'espace entre chaque signal, cet espace est de la valeur d'une barre.

4° L'espace entre les mots qui est de la valeur d'une barre et demie à deux barres.

L'habileté chez l'opérateur consiste donc à resserrer entre eux, autant que possible, d'abord les éléments d'un signal puis les signaux successifs en précipitant les mouvements de la clef de manipulation.

Le rendement d'un appareil Morse desservi par des opérateurs habiles est de 750 à 800 mots de 5 lettres à l'heure, ce qui est loin des chiffres que nous faisions entrevoir plus haut.

Tableaux de signes indiqués par Morse avec deux a six fils. — Après avoir fait cet appareil si merveilleux de simplicité et d'un rendement supérieur à celui de tous les systèmes à aiguilles existant à cette époque. M. Morse indiqua la manière dont il disposerait ses points et ses barres avec 2, 3, 4, 5 et 6 fils car, à cette époque, il y avait des appareils fonctionnant avec plusieurs fils de ligne.

L'emploi de plusieurs fils de ligne offrait l'avantage de produire *simultanément* tous les éléments d'un signal lorsque, avec un seul fil, on ne pouvait produire que *successivement* les éléments de ce signal ce qui était une cause de lenteur se dressant contre l'alphabet Morse qui, outre la succession des signes entrant dans la formation d'un signal renfermait un signe long d'une valeur triple du signe court et ne présentait qu'une seule lettre formée d'un signal simple.

Recherche de la rapidité. — *Le signal simple* c'est-à-dire celui qui est formé *d'un seul point dû à une émission brève*, étant celui qui représente le temps minimum, c'est à l'obtenir qu'il faut viser dans la recherche de la rapidité. C'est ce que fit Morse en composant des alphabets avec 2, 3, 4, 5 et 6 fils jusqu'à ce qu'il n'eut plus de signes doubles dans aucun des signaux, c'est-à-dire jusqu'à ce que chaque fil n'eut plus qu'à transmettre une émission brève en vue de la formation d'un signal.

Avec 2 fils aboutissant à deux plumes, il dispose ses combinaisons de points et de barres sur deux lignes longitudinales et parallèles comme l'indique le tableau ci-dessous.

Alpahbet Morse pour deux fils.

1er fil	.		. .			. .	. .	.	.	. .	—		—
2e »		.	.	.	. .	.	.	. .	. .	. .		—	—
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M

1er fil	.	.	—	—	—	. .	— .	. —			— .	. —	.
2e »	—	—	.	.	. .	—			— .	. —	.	.	. —
	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z

1er fil	— .	. —	.	.	. —	— .	— .	. —	—	—
2e »	.	.	— .	. —	. —	— .	—	—	— .	. —
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0

Cet arrangement a pour but de former chaque signal dans le minimum de temps, ce qui est obtenu en limitant le travail maximum de chaque fil à la transmission d'un point et d'une barre quel que soit le signal à former.

Avec 3 fils de ligne, Morse supprime les traits et ne combine plus que des points sur trois lignes longitudinales et parallèles mais il est encore obligé de doubler les points sur un même fil pour un certain nombre de lettres ce qui donne toujours des temps perdus.

Alphabet Morse pour trois fils.

1er fil. . . . .
2e » . . . .
3e » . . . . . .
A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T

1er fil. . . . .
2e » . . . .
3e » . . . .
U V W X Y Z 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0

Alphabet Morse pour quatre fils.

1er fil. . . . .
2e » . . . .
3e » . . . .
4e » . . . .
A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T

1er fil. . . . . . .
2e » . . . .
3e » . . . .
4e » . . . .
U V W X Y Z 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0

Avec 4 fils, le nombre des signaux dans lesquels entrent des signes doubles étant moindre qu'avec 3 fils, il s'ensuit que les temps perdus sont moins nombreux et que la rapidité de transmission est plus grande.

Alphabet pour cinq fils.

1er fil. . . . . . .
2e » . . . .
3e » . . . . . .
4e » . . . .
5e » . . . . . .
A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T

1er fil. . . . . . .
2e » . . . . . .
3e » . . . .
4e » . . . .
5e » . . . . . .
U V W X Y Z & 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0

Avec 5 fils, le nombre des signaux simples qui peuvent être formés est de $2^5 - 1 = 31$ [1]. Ce nombre est supérieur à celui des lettres de l'alphabet mais inférieur à celui des lettres et des chiffres réunis, il est donc nécessaire pour éviter des signes doubles de recourir à un sixième fil.

Avec 6 fils, le nombre des signaux formés de signes simples est de $2^6 - 1 = 63$, mais M. Morse n'en désigne que 37 que nous reproduisons ci-dessous.

(1) C'est ce que nous démontrerons plus loin en exposant les principes communs qui servent de base aux alphabets de signes et aux systèmes de numération.

Alphabet pour six fils.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
1er fil	.										.	.						.	.	
2e »		.								.	.	.	.				.	.	.	.
3e »			.						.	.		.	.	.		.	.	.	.	.
4e »				.				.	.				.	.	.	.	.	.	.	.
5e »					.		.	.						.	.	.	.		.	.
6e »						.	.								.	.				.

	U	V	W	X	Y	Z	&	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
1er fil	.	.						.	.		.	.	.	.	.		
2e »	.		.				.			.	.		.		.		
3e »	.			.		.		.					.			.	.
4e »	.				.		.		.					.	.		.
5e »	.					.				.		.		.		.	
6e »	.										.	.	.	.	.	.	.

Maintenant si, comme nous l'avons fait pour les alphabets de Schilling et de Gauss et Weber, nous représentons chaque point par le signe +, par exemple, en laissant en blanc les places qui représentent les fils inoccupés dans la formation d'un signal, le signe — étant éliminé par suite de l'utilisation d'un seul sens du courant, nous pourrons former les manuels de signaux ci-contre avec les alphabets de 5 et 6 fils.

La table des 5 fils ne donnant que 31 combinaisons formées d'éléments simples, M. Morse en ajoute 6 formées d'éléments doubles avec lesquelles il représente les chiffres 5, 6, 7, 8, 9, 0.

Pour la table des 6 fils qui renferme en principe 63 combinaisons M. Morse ne donne que les 37 nécessaires à la représentation des lettres et des chiffres. Nous y ajoutons les 26 combinaisons supplémentaires pour former la table complète.

Dans les alphabets de signes qui précèdent nous avons suivi l'ordre donné par M. Morse mais il est à remarquer que ces alphabets pourraient être présentés sous des milliers d'aspects différents.

Signaux complexes formés de signes simples. — L'idée des signaux complexes formés de signes simples en vue d'une transmission rapide appartient donc à M. Morse qui la rejeta parce que d'une part ce moyen de transmission exigeait un nombre de fils égal au nombre maximum de signes simples composant un signal. Nous venons de voir que 5 fils étaient insuffisants et qu'il en fallait 6 pour éliminer tout signe double sur un des fils. Comme la plus grande dépense correspond précisément à l'établissement des fils conducteurs c'est le système Morse, n'exigeant qu'un fil, qui fut universellement adopté car c'est lui qui répondait le plus complètement aux exigences de la pratique. D'autre part on ne reconnaissait aucune valeur pratique à ces sortes de combinaisons si on s'en rapporte à M. Vail, collaborateur de M. Morse, qui déclare textuellement dans son ouvrage sur le *Télégraphe électro-magnétique américain* écrit, en 1845, ceci : « Il est évident que chaque plume additionnelle augmente d'autant les éléments de la combinaison et si un tel arrangement présentait quelque avantage réel il y a longtemps qu'on l'aurait adopté. »

Nous verrons cependant moins de trente ans plus tard, les signaux complexes, formés de signes simples, être repris par les inventeurs et servir, *à l'aide d'un seul fil*, à la réalisation des appareils les plus rapides. Mais, pendant ce temps, le domaine de la télégraphie se sera considérablement enrichi et ce qui était, au début, considéré comme sans valeur deviendra tout à coup merveilleux grâce aux admirables appareils Hughes et Meyer : le premier créant d'une part le type des appareils imprimeurs synchroniques avec lesquels *une seule émission brève* sert à produire non pas un signal qu'il faut traduire ensuite mais au contraire à imprimer *au vol* des caractères typographiques dispensant de toute traduction et

TABLE DES SIGNAUX MORSE POUR 5 FILS

		Fils 1	2	3	4	5
1	A	+				
2	B		+			
3	C			+		
4	D				+	
5	E					+
6	F				+	+
7	G			+	+	
8	H		+	+		
9	I	+	+			
10	J	+		+		
11	K		+		+	
12	L			+		+
13	M		+			+
14	N	+			+	
15	O	+				+
16	P	+	+	+		
17	Q		+	+	+	
18	R			+	+	+
19	S		+	+	+	+
20	T	+	+	+	+	
21	U	+	+	+	+	+
22	V		+		+	+
23	W	+			+	+
24	X	+			+	+
25	Y	+		+	+	
26	Z	+		+		+
27	&	+	+	+		+

		Fils 1	2	3	4	5
28	1	+		+	+	+
29	2	+	+			+
30	3	+			+	+
31	4	+	+		+	+
	5	+ +				
	6		+ +			
	7			+ +		
	8				+ +	
	9					+ +
	0					+ +

TABLE DES SIGNAUX MORSE POUR 6 FILS

	Fils 1	2	3	4	5	6
A	+					
B		+				
C			+			
D				+		
E					+	
F						+
G					+	+
H				+	+	
I			+	+		
J		+	+			
K	+	+				
L	+	+	+			
M		+	+	+		
N			+	+	+	
O				+	+	+
P			+	+	+	+
Q		+	+	+	+	
R	+	+	+	+		
S	+	+	+	+	+	
T		+	+	+	+	+
U	+	+	+	+	+	+
V	+					+
W		+				+
X			+			+
Y				+		+
Z			+		+	
&		+		+		

Signaux inutilisés par Morse	Fils 1	2	3	4	5	6
1	+		+			
2	+			+		
3		+			+	
4	+	+				+
5	+				+	+
6	+	+	+			+
7	+			+	+	+
8	+	+		+		
9			+		+	+
0			+	+		+
	+	+	+	+		+
	+	+	+		+	+
	+	+	+		+	
	+	+		+	+	+
	+	+		+	+	
	+	+		+		+
	+	+			+	+
	+	+			+	
	+		+	+	+	+
	+		+	+	+	
	+		+	+		+
	+		+	+		
	+		+		+	+
	+		+		+	
	+		+			+
	+			+	+	
	+			+		+
	+			+	+	
		+	+			+
		+	+		+	+
		+	+		+	
		+	+			+
		+		+	+	+
		+		+	+	
		+		+		+
		+			+	+

possédant d'autre part deux registres, un de lettres et un de chiffres et signes spéciaux dont on se sert à volonté à l'aide d'un système d'inversion fonctionnant également *au vol*, ce qui permet de doubler le nombre des caractères sans doubler le nombre des combinaisons; le deuxième créant le type des appareils multiples basés sur la division du temps dont l'organe principal est un distributeur.

C'est à l'aide de ce système de distributeur que les signaux complexes formés de signes simples ne tarderont pas à prendre la première place parmi les moyens de transmission rapide donnant ainsi tort à l'assertion de M. Vail que nous avons citée tout à l'heure.

Quoiqu'il en soit, M. Morse n'attacha aucune importance à ces sortes de combinaisons et ne leur donna aucune sanction pratique.

Nous attirons une première fois l'attention sur ce fait sur lequel nous reviendrons relativement à Davy, Highton, Whitehouse en raison du procès lamentable et finalement tragique auquel donnèrent lieu ces mêmes combinaisons entre deux employés de l'administration française, procès qui dura plus de dix ans (1875 à 1885) et au cours duquel on exhuma des

antériorités que nous nous proposons de réduire à leur juste valeur c'est-à-dire à néant, car Davy, Highton, Whitehouse n'y attachèrent guère plus d'importance que Morse et ne leur donnèrent de même que lui, non seulement aucune sanction, mais n'en établirent pas même une théorie raisonnée susceptible de les présenter définitivement comme pouvant servir de base à des manuels de télégraphes nouveaux.

Brevet de Morse en Europe. — M. Vail ne nous dit pas en quelle année Morse composa ses alphabets pour 2, 3, 4, 5 et 6 fils ; mais il est probable que c'est de 1832 à 1838 au cours des travaux auxquels il se livra après avoir conçu son télégraphe à signaux comme nous l'avons vu plus haut. En effet, ses recherches sur la formation des signes et sur la meilleure manière de les produire durent être nombreuses et les expériences lentes puisque ce n'est qu'en 1838, six ans après sa conception à bord du *Sully*, qu'il revint en Europe pour faire breveter un « système de télégraphe dans lequel un électro-aimant réagissait sur un style qui traçait sur une bande de papier entraînée par un mouvement d'horlogerie des marques de diverse nature, lesquelles par un arrangement convenu, représentaient toutes les lettres de l'alphabet, les chiffres et les signes de ponctuation ».

Mais ce système, tel qu'il avait été conçu à l'origine et tel qu'il avait été breveté en 1838 ne pouvait marcher qu'à de très faibles distances (quelques kilomètres) et cela en raison de la très faible énergie que possédaient les électro-aimants d'alors.

Cette faiblesse d'énergie des électro-aimants était due à une erreur relative aux conditions de leur force suivant la longueur des circuits. On croyait en effet que moins l'hélice magnétique (bobine) présentait de résistance plus l'action devait être énergique et on enroulait, en conséquence, toujours du gros fil autour des noyaux de l'électro-aimant.

Premiers relais. — C'est M. Wheatstone qui, le premier, s'aperçut de l'erreur et commença à enrouler du fil fin mais avant il s'était servi de relais à l'arrivée et c'est de relais dont il se servait en 1838, lorsque M. Morse vint en Angleterre pour demander sa patente, patente qui lui fut refusée d'ailleurs pour cause d'analogie entre son télégraphe et celui de Wheatstone ce qui était injuste, car les signaux Morse n'avaient véritablement rien de commun avec ceux de Wheatstone.

Néanmoins, M. le comte du Moncel auquel nous empruntons ces renseignements déclare que si M. Morse, dans le voyage qu'il fit en Angleterre en 1838, n'eut eu révélation des relais de M. Wheatstone, son système serait resté dans l'oubli comme tant d'autres.

D'après M. du Moncel ces relais furent pour M. Morse un trait de lumière dont il s'empressa de tirer profit car, aussitôt de retour en Amérique, il construisit ses appareils avec des relais et cette fois il put marcher à toutes distances.

M. du Moncel ajoute, au sujet de l'indemnité de 400 000 fr accordée à M. Morse par les différents gouvernements d'Europe faisant usage de son télégraphe *qu'on peut voir une fois de plus que ce ne sont pas toujours les véritables inventeurs qui recueillent le fruit de leurs inventions*.

Sur ce point nous sommes d'accord avec M. du Moncel ; mais la remarque ne s'applique pas au cas qui nous occupe : En effet : M. Morse, *avant de connaître les travaux de M. Wheatstone*, avait complètement résolu le problème de son télégraphe *basé sur le pouvoir attractif de l'électro-aimant pour écrire en caractères lisibles* et la forme de ses signaux était définitivement arrêtée lorsqu'il vint en Europe en 1838.

Ces deux points : 1° utilisation du pouvoir attractif de l'électro-aimant ; 2° signaux formés de deux signes élémentaires, point et trait, se traçant longitudinalement sur une bande de papier constituaient l'*âme* de son invention. Ceci fait, il lui était loisible de se

servir de tous les progrès qui pouvaient s'accomplir autour de lui, soit dans la construction des lignes, soit dans les piles, soit dans les électro-aimants sans diminuer en rien la valeur de ses droits et l'importance de son invention.

(*A suivre.*)

MUNIER.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

Etude sur le couplage des alternateurs, par **H. Gœrges**, *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXI, p. 188, 8 mars 1900.

Le couplage des alternateurs a déjà donné lieu à de nombreuses études dans l'*Elektrotechnische Zeitschrift* du 8 mars dernier. M. Görges revient sur cette question et indique une méthode graphique permettant de représenter simplement la marche en parallèle et d'arriver à une expression analytique des oscillations.

1. *Génératrice et moteur.* — Quand les champs magnétiques d'un alternateur tournant ont tourné d'un angle correspondant au pas polaire, la force électromotrice a parcouru toutes les valeurs d'une période. On peut par suite de la phase instantanée d'une force électromotrice conclure la position des champs inducteurs ; les champs de deux machines doivent avoir forcément des positions homologues quand les deux forces électromotrices sont en phase. Sinon il y a entre deux rayons correspondants des deux machines un certain angle proportionnel au décalage ; cet angle est la p^{eme} partie du décalage, s'il y a p paires de pôles.

Nous supposerons que les forces électromotrices sont sinusoïdales. Soient alors OM_1 et OM_2 (fig. 1) les demi-forces électromotrices de deux alternateurs monophasés ou d'une phase de deux alternateurs triphasés en étoile. D'une façon générale on peut considérer O comme le potentiel d'un point neutre, M_1 et M_2 comme les potentiels d'une borne de deux machines à circuit ouvert. Si le mouvement de la machine II est uniforme, la direction OM_2 est fixe. Toute irrégularité de marche de la machine I se traduira par une variation de direction de OM_1. Si I avance, l'angle α augmente, sinon il diminue. Si on réunit les bornes correspondantes des deux machines, il se produira des courants. Nous pouvons, sans porter atteinte à la généralité de la question, considérer une phase de deux alternateurs triphasés et réunir les points neutres et les extrémités de la phase. Les courants qui

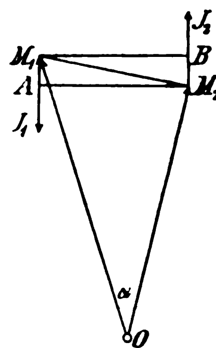


Fig. 1.

se produisent sont dus à la différence géométrique $M_1 M_2$ des deux forces électromotrices. L'intensité J sera décalée par rapport à $M_1 M_2$ d'un angle $M_2 M_1 A$ par suite de la self-induction. La chute de tension M_1M_2 est produite en partie par la résistance ohmique (c'est la partie M_1A en phase avec J), l'autre partie est produite par AM_2 perpendiculaire à J.

Comme la perte de tension par self-induction est beaucoup plus grande que l'autre, l'angle M_2M_1A est presque droit et M_1A fait de petits angles avec M_1O et M_2O. Donc les deux machines produisent un grand travail si l'angle M_1OM_2 n'est pas trop voisin d'un angle droit. Le travail de la machine I est

$$E_1 J \cos\varphi = OM_1 \frac{M_1A}{R} \cos(OM_1M_1A)$$

R étant la résistance du circuit. Si le circuit était dépourvu d'induction, l'intensité serait en phase avec M_1M_2 et ferait des angles notables avec OM_1 et OM_2. Avec la même intensité, le travail des deux machines serait moindre. Ainsi donc la

self-induction a pour effet d'augmenter la composante wattée du courant local et de diminuer la composante déwattée.

Si le courant local est watté, l'une des machines travaille en génératrice, l'autre en réceptrice. Cherchons à les distinguer. On peut considérer M_1M_2 comme dirigé de M_1 vers M_2 ou inversement. Supposons que l'axe des temps, sur lequel on doit projeter tous les vecteurs pour avoir les valeurs instantanées tourne dans le sens des aiguilles d'une montre, l'intensité sera toujours dirigée vers la droite, à cause de la self-induction. On peut donc la représenter par M_1J_1 en M_2J_2. Or si une tension travaille sur résistances ohmiques, le potentiel diminue suivant le sens de l'intensité. Si on choisit M_1J_1, la distance du potentiel au point O diminue, si on choisit M_2J_2, elle augmente. Or nous savons, par le courant continu, que le potentiel diminue si on s'éloigne de la génératrice par des résistances et qu'il augmente si on s'éloigne de la réceptrice. Donc dans notre cas, OM_1 appartient à la génératrice, OM_2 à la réceptrice. Or avec notre sens de rotation pour l'axe des temps, OM_1 est en avance, OM_2 en retard. Donc *la machine qui a de l'avance sur l'autre est la génératrice.*

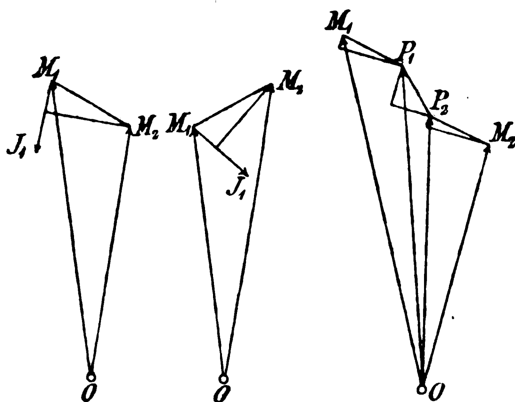


Fig. 2, 3 et 4.

S'il n'y avait pas de self-induction, la génératrice serait toujours celle dont le vecteur OM serait le plus grand. Mais à cause de la self. OM_1 peut rester moindre que OM_2 ; la machine I sera génératrice tant que OM_1J_1 sera aigu (fig. 2 et 3). Le diagramme d'un transport de force synchrone avec deux machines identiques est représenté par la fig. 4. Dans la première machine le potentiel tombe de M_1 à P_1, dans la ligne de P_1 à P_2, enfin dans la deuxième machine de P_2 à M_2. OP_1 et OP_2 sont les tensions respectives entre le point neutre de chaque machine et une borne.

2. *Machines et Réseaux.* — Supposons ensuite qu'une machine travaille avec la force électromotrice OM_1 (fig. 5) sur les rails d'un réseau de

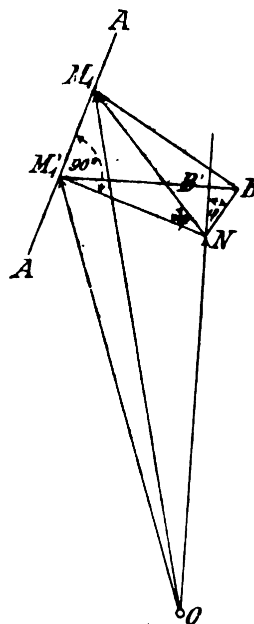


Fig. 5.

tension constante en grandeur et phase. Soit $ON = E_n$ cette tension. Pour obtenir la force électromotrice aux bornes de la machine, nous portons un vecteur NB dans la direction de l'intensité et égal à la perte ohmique, puis une perpendiculaire BM_1 égale à la chute de tension inductive. OM_1 est donc la force électromotrice de la machine. L'angle aigu de NB et ON est le décalage de l'intensité du réseau. La puissance est

$$ON.NB \cos\varphi = ON.NB'$$

Considérons un point M'_1 obtenu comme M_1 mais en supposant $\varphi = 0$, ce point M'_1 correspondant au même travail. Il suffira de mener par B' une perpendiculaire à OB', égale à la perte de tension inductive. Les deux triangles NBM_1 et $NB'M'_1$ sont semblables ; on a donc

$$\frac{NM_1}{NM'_1} = \frac{NB}{NB'}$$

et

$$\widehat{BNB'} = \widehat{M_1NM'_1} = \varphi$$

on en déduit la similitude des deux triangles BNB′ et $M_1NM'_1$. Donc $M'M'_1N$ est un angle droit et *le lien des points d'égale puissance est une perpendiculaire à* NM'_1.

Si pour une puissance donnée et pour une force électromotrice donnée de la machine I, on veut trouver la position de OM_1, on fera la construction suivante. On prolonge ON d'une quantité égale à RJ′, J′ étant l'intensité correspondant à $\cos\varphi = 1$, on obtient ainsi B′, on mène une perpendiculaire $B'M'_1 = SJ'$, perte de tension inductive pour $\cos\varphi = 1$. En M′, on mène une perpendiculaire AA à M'_1N et de O comme centre on décrit un cercle ayant pour rayon la force électromotrice donnée. On obtient ainsi M_1 et OM_1 est la force électromotrice de la machine. $M_1NM'_1 = \varphi$ est le décalage entre la machine I et le réseau. En changeant l'excitation, on déplace M_1 sur AA et par suite φ varie.

Si on construit les différentes lignes d'égale puissance, on a un réseau de lignes parallèles

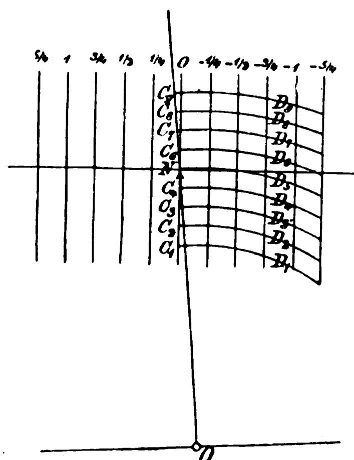


Fig. 6.

(fig. 6) et équidistantes. La ligne de puissance nulle passe en N. On peut en déduire la courbe en V des moteurs synchrones. Si on décrit des cercles ayant O comme centre avec des rayons croissants, la ligne de puissance nulle est coupée en C_1C_2... et les longueurs NC sont proportionnelles aux intensités correspondantes. La ligne de puissance — 1, (ligne de puissance normale en réceptrice) est coupée aux points $D_1D_2 \ldots D_9$ et les longueurs ND sont encore proportionnelles aux intensités. Si on porte OC en abcisses et NC en ordonnées, on obtient la courbe en V de la marche à vide. De même pour la pleine charge (fig. 7).

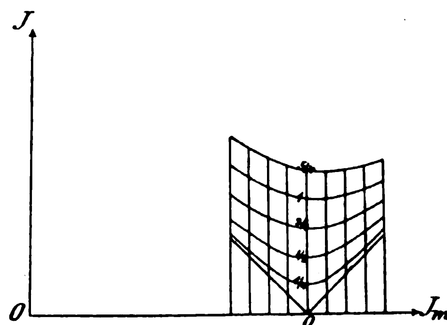


Fig. 7.

3. *Oscillations des machines.* — Considérons ensuite le cas où deux machines I et II, dont les forces électromotrices sont OM_1 et OM_2 travaillent en parallèle sur un réseau. Nous supposerons les forces électromotrices et les puissances inégales. Pour que les machines puissent travailler en parallèle, il faut que celle qui est en avance soit plus chargée, ce qui a lieu, comme on l'a vu plus haut, grâce à la self. Plus le rapport de la chute ohmique à la chute inductive est grand, plus les lignes d'égale puissance sont inclinées sur ON. Si ces lignes étaient parallèles à la tangente en M_1 au cercle OM_1, la charge ne croîtrait pas avec l'avance et la marche en parallèle serait impossible.

Dans le cas le plus simple, les deux forces électromotrices sont égales ainsi que les puissances. Alors OM_1 et OM_2 se confondent suivant OM. Si la machine I avance, de façon que sa force électromotrice vienne en OM_1, la machine II doit forcément retarder et sa force électromotrice vient en OM_2 de telle sorte que la somme des puissances reste invariable. Les intensités qui étaient primitivement proportionnelles à MN sont maintenant proportionnelles à NM_1 et NM_2, les décalages des intensités par rapport à la tension du réseau deviennent respectivement φ_1 et φ_2.

Si les puissances moyennes des moteurs sont égales et correspondent à la ligne $\frac{3}{4}$ de la fig. 8, les forces électromotrices ne peuvent conserver les positions OM_1 et OM_2 correspondant à

des puissances 1 et $\frac{1}{2}$, mais elles oscilleront. La vitesse de la machine II augmentera tandis que celle de la machine I diminuera. Les deux

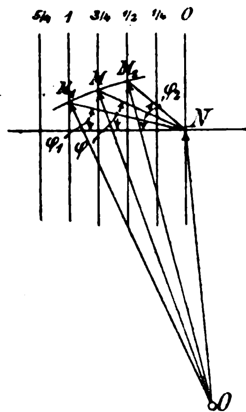


Fig. 8.

vecteurs échangeront leurs positions et les deux machines oscilleront autour d'une position d'équilibre.

Dans ce qui précède nous avons considéré la tension du réseau ON comme rigoureusement constante : ceci n'est vrai que si la puissance du réseau est très grande par rapport à celle des machines considérées, sinon la tension du réseau subit elle-même des oscillations.

4. *Equation différentielle des oscillations.* — Nous supposerons que la fréquence du courant alternatif est grande par rapport à celle des oscillations, de telle sorte que l'on peut parler des valeurs moyennes des tensions, intensités et puissances. Soit L la puissance du moteur, A la puissance de l'alternateur, Φ la force vive des masses en mouvement, D la puissance d'amortissement. A chaque instant on a

$$Ldt = Adt + d\Phi + Ddt. \qquad (1)$$

Exprimons ces grandeurs en fonction du temps. Dans la plupart des moteurs, L est une fonction compliquée de t. Dans les turbines c'est sensiblement une constante. — La puissance A de l'alternateur se déduit du diagramme ; en négligeant la chute ohmique, on voit que la ligne de puissance AA est une parallèle, à la tension du réseau ON (fig. 9). La perpendiculaire NM′ à ON est la chute de tension inductive pour $\varphi = O$. Menons NM faisant un angle φ_1 avec NM. La force électromotrice est en avance d'un angle α sur la tension du réseau $E_n = ON$.

Dans la branche de l'enroulement comprise

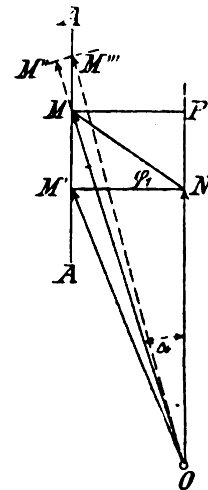


Fig. 9.

entre le point neutre et une borne, la puissance est E_nJ', J′ étant l'intensité pour $\cos\varphi = 1$. S'il y a m branches on a

$$A = mE_n J'$$

Soit J_0 l'intensité de court-circuit sous l'excitation qui à vide donne la tension $E_n = ON$. On a

$$\frac{J_0}{J'} = \frac{ON}{M'N} = \frac{E_n}{E'_s}$$

$$J' = \frac{E'_s}{E_n} J_0$$

E'_s représente la plus petite chute inductive qui soit possible pour la puissance A ($\cos\varphi = 1$). On a donc

$$A = mE'_s J_0$$

$$\sin\alpha = \frac{MP}{OM} = \frac{M'N}{OM} = \frac{E'_s}{E}$$

$$A = mEJ_0 \sin\alpha.$$

Soit ensuite Θ le moment d'inertie des masses en mouvement, ω la vitesse angulaire instantanée, ω_0 la vitesse angulaire moyenne

$$\Phi = \frac{1}{2}\,\theta g\,(\omega^2 - \omega_0^2) \text{ en watts.}$$

Si a est le $\frac{1}{2}$ nombre des pôles

$$d\alpha = a\,(\omega - \omega_0)\,dt$$

$$\omega = \omega_0 + \frac{1}{a}\,\frac{d\alpha}{dt}$$

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{a}\frac{d^2\alpha}{dt^2}$$

$$d\Phi = g\theta\omega d\omega = \frac{g\theta}{a}\left(\omega_0 + \frac{1}{a}\frac{d\alpha}{dt}\right)\frac{d^2\alpha}{dt^2}dt$$

Comme la valeur de $\frac{1}{a}\frac{d\alpha}{dt}$ est petite par rapport à ω_0, nous la négligeons et il reste

$$d\Phi = \frac{g\theta\omega_0}{a}\frac{d^2\alpha}{dt^2}dt.$$

Remplaçant ω_0 par sa valeur en fonction de la fréquence n, on a

$$d\Phi = \frac{2\pi ng\theta}{a^2}\frac{d^2\alpha}{dt^2}dt;$$

posons $p = \frac{2\pi ng\theta}{a^2}$. Il reste

$$d\Phi = p\frac{d^2\alpha}{dt^2}dt.$$

La puissance D d'amortissement est due aux courants de Foucault induits dans les masses polaires quand le champ de l'induit et le champ inducteur ont des vitesses différentes, c'est-à-dire quand α varie. On peut considérer la machine comme un moteur asynchrone, la puissance d'un moteur de fréquence a est

$$A_m = 2\pi can^2M^2(1-v)v$$

où c est une constante, M le maximum du flux sinusoïdal et v la vitesse en fraction de la vitesse synchrone [1].

La puissance d'amortissement fournie par la machine à vapeur est donc

$$D = -A_m = -2\pi can^2M^2(1-v)v.$$

Comme v est voisin de 1 nous poserons

$$D = -A_m = -2\pi can^2M^2(1-v)v = canM^2a(\omega-\omega_0)$$

ou

$$D = canM^2\frac{d\alpha}{dt} = q\frac{d\alpha}{dt}$$

en posant $q = can\,M^2$.

Si nous portons dans l'équation (1) les valeurs de A, $d\Phi$, D on trouve

$$L = mEJ_0\sin\varphi + p\frac{d^2\alpha}{dt^2} + q\frac{d\alpha^2}{dt^2}.$$

(1) GÖRGES. Théorie des moteurs asynchrones E.T.Z., 1895, p. 770.

Soit

$$\alpha = \alpha_0 + x$$
$$\frac{d\alpha}{dt} = \frac{dx}{dt},$$

α_0 correspond à l'équilibre c'est-à-dire à la puissance moyenne

$$A_0 = mEJ_0\sin\alpha_0.$$

L'angle x est relativement petit ainsi que α_0. Si on prend $\alpha_0 = 20°$ ce qui est assez grand, nous commettrons pour $x = 10°$ une erreur de 1,2 p. 100 et pour $x = 20°$ une erreur de 4 p. 100, si nous posons :

$$\sin\alpha = \sin(\alpha_0 + x) = \sin\alpha_0 + x\cos\alpha_0.$$

Alors

$$L - A_0 = p\frac{d^2x}{dt^2} + q\frac{dx}{dt} + mEJ_0\cos\alpha_0 x.$$

Posons ensuite

$$mEJ_0\cos\alpha_0 = r$$

et transformons cette expression d'après la figure 7

$$\cos\alpha_0 = \frac{OP}{OM} = \frac{E_n + E'_s\,tg\,\varphi}{E}.$$

Donc

$$r = \frac{mJ'E_n}{E'_s}(E_n + E'_s\,tg\,\varphi)$$

ou

$$r = \frac{A_0}{E'_s}(E_n + E\quad tg\,\varphi).$$

Nous avons donc à intégrer l'équation différentielle.

$$p\frac{d^2x}{d^2t} + q\frac{dx}{dt} + rx = f(t).$$

5. *Oscillations propres des alternateurs.* — Pour arriver à cette intégration, il faut que $f(t)$ soit donné. Dans le cas le plus simple, le mouvement du moteur est uniforme. Alors L et A_0 sont constants et

$$f(t) = 0.$$

Si on néglige l'amortissement, il reste

$$p\frac{d^2x}{dt^2} + rx = 0$$

d'où

$$x = S\sin 2\pi\left(\frac{t}{T_0} + c\right)$$

avec

$$T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{p}{r}} = \frac{2\pi}{a}\sqrt{\frac{2\pi n g \theta E'_s}{A_0(E_n + E'_s \operatorname{tg}\varphi)}}$$

S et c sont des constantes.

On a ainsi la période de l'oscillation propre, Si $\cos\varphi = 1$, $tg\,\varphi = 0$ il reste

$$T' = \frac{2\pi}{a}\sqrt{\frac{2\pi n g \theta E'_s}{A_0 E_n}}. \qquad (1)$$

Un alternateur commandé par une turbine oscillera avec cette période, si on le déplace de son état d'équilibre, par exemple en augmentant subitement l'intensité d'excitation sans changer la charge. Le vecteur OM (fig. 7) augmentera et le point M″ serar su une ligne d'égale puissance correspondant à une plus grande puissance. On reconnaît que le vecteur vient en OM‴ et l'angle diminue pour que la puissance reprenne sa valeur primitive : c'est là l'impulsion qui produit les oscillations.

6. *Oscillations conjuguées des alternateurs et des moteurs.* — Pour résoudre l'équation différentielle dans toute sa généralité, nous développons $f(t)$ par la série de Fourier.

$$L - A_0 = f(t) = P_1 \cos\frac{2\pi t}{\tau} + P_2 \cos\frac{4\pi t}{\tau} + P_3 \cos\frac{6\pi t}{\tau} + \dots + Q_1 \sin\frac{2\pi t}{\tau} + Q_2 \sin\frac{4\pi t}{\tau} + Q_3 \sin\frac{6\pi t}{\tau} + \dots$$

Les différents termes ont donc pour périodes d'oscillations

$$\tau, \frac{\tau}{2}, \frac{\tau}{3}, \dots$$

Posons

$$P_m \cos\frac{2m\pi t}{\tau} + Q_m \sin\frac{2m\pi t}{\tau} = R \sin 2\pi\left(\frac{mt}{\tau} + \chi\right).$$

Si nous considérons l'influence de ce terme seul nous pouvons poser $\chi = 0$. Alors :

$$f(t) = R \sin\frac{2\pi t}{T_a}$$

en appelant T_a la période oscillatoire $\frac{\tau}{m}$.

([1]) M. Boucherot est arrivé à la même formule en 1892 (note de l'auteur).

L'équation différentielle est alors

$$p\frac{d^2x}{dt} + q\frac{dx}{dt} + rx = R \sin\frac{2\pi t}{T_a},$$

l'intégrale générale est

$$x = S\cos 2\pi(z_a t - \psi) + Ue^{-\lambda t}\sin 2\pi(zt + c) \qquad (2)$$

où

$$z_a = \frac{1}{T_a}$$

est la période d'oscillation du moteur et

$$z = \frac{1}{T}$$

est la période d'oscillation de l'alternateur.

Nous supposons l'amortissement faible, on a donc

$$q^2 < 4pr.$$

De plus

$$S = \frac{R}{\sqrt{(r - 4\pi^2 p z_a^2)^2 + 4\pi^2 q^2 z_a^2}}$$

$$\operatorname{tg}\psi = \frac{2\pi z_a}{r - 4\pi^2 z_a^2}$$

$$z = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{r}{p} - \frac{q^2}{4p^2}} \qquad \lambda = \frac{q}{2p}$$

U et c sont des constantes arbitraires, qui permettent de déterminer l'angle x et la vitesse $\frac{dx}{dt}$ à un instant donné.

Chaque terme de la série de Fourier donne une intégrale de la forme précédente, mais comme λ et z ont la même valeur pour ces intégrales, on peut les réunir en un terme :

$$\Sigma x = \Sigma\left(S\cos 2\pi(z_a t + \chi - \psi)\right) + ue^{-\lambda t}\sin 2\pi(zt + c)$$

où z_a prend toutes les valeurs

$$\frac{1}{\tau}, \frac{2}{\tau}, \frac{3}{\tau} \dots$$

et où S et ψ s'en déduisent par les formules ci-dessus. A cette somme, il faut ajouter l'oscillation propre de la machine qui suit une loi sinusoïdale simple. Il en résulte des oscillations que le coefficient d'amortissement λ fait bientôt disparaître et il ne reste que les oscillations correspondant au moteur, dont la période est indépendante de celle des oscillations propres.

Le deuxième terme de l'équation (2) disparaît bientôt à cause de l'amortissement. Si ce dernier

est nul on a

$$q = 0 \qquad T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{p}{r}} = \frac{1}{z_0}.$$

Considérons ensuite le premier terme, qui contient la période d'oscillation z_a de la machine motrice. Si on introduit le terme z_0 on peut écrire l'amplitude sous la forme

$$S = \frac{R}{\sqrt{[4\pi^2 p(z^2_0 - z^2_a)]^2 + 4\pi^2 q^2 z^2_a}}.$$

Cette égalité montre que l'amplitude S est diminuée par l'amortissement. C'est le principal effet de celui-ci. S'il est nul il reste

$$S = \frac{R}{4\pi^2 p\,(z^2_0 - z^2_a)}.$$

Les deux dernières égalités montrent que l'amplitude augmente à mesure que la période des oscillations propres s'approche davantage de celle du moteur (1).

Il faut donc pour la facilité du couplage rendre ces nombres aussi différents que possible.

Il est intéressant de rechercher dans quelle mesure les oscillations sont augmentées par la résonance. Supposons qu'une machine travaille seule sur le réseau. L'équation du travail devient

$$L dt = A dt + d\Phi.$$

Nous pouvons considérer A comme constant et égal à A_0 car il ne peut varier qu'avec la vitesse tant que le circuit extérieur reste le même.

Donc

$$L - A_0 = p\,\frac{d^2\alpha}{dt^2}$$

ou

$$p\,\frac{d^2\alpha}{dt^2} = f(t).$$

Il suffira donc dans l'intégrale de faire q et r nuls. Il reste

$$S' = \frac{R}{4\pi^2 p z^2_a}.$$

Le rapport entre les amplitudes S_0 et S' est s'il n'y a pas amortissement :

$$\zeta = \frac{S_0}{S'} \pm - \frac{z^2_a}{z^2_0 - z^2_a}.$$

Le nombre ζ mesure l'intensité des oscillations conjuguées.

On pourrait l'appeler *module de résonance*.

Conclusion. — Dans la marche en parallèle des alternateurs, le facteur important n'est pas tant le coefficient de régulation que l'avance ou le retard maximum d'un point de la partie mobile par rapport à la position qu'il occuperait si le mouvement était uniforme. De la grandeur de cet écart dépendent les variations de puissance et d'intensité, cet écart ne doit donc pas excéder certaines limites. Si le couple moteur n'a pendant un tour qu'un maximum et un minimum, le coefficient de régulation doit être très faible. On peut le prendre d'autant plus grand que le nombre de maxima par tour est plus élevé. Pour éviter les oscillations, on adoptera les moteurs dont les variations du couple présentent plusieurs périodes par tour. Dans ce cas la fréquence des oscillations du moteur sera bien plus grande que celle des oscillations de l'alternateur. Si le moment d'inertie est assez élevé, le couplage s'effectuera très bien sans circuits amortisseurs. Si on connaît le diagramme des efforts moteurs, on peut calculer R et on déduit le moment d'inertie pour une valeur donnée du maximum de S. On voit que le moment d'inertie varie en raison inverse du carré de la fréquence des oscillations du moteur, E. Beutom.

(1) MM. Boucherot et Blondel ont déjà signalé ce danger en 1892. Voir *La Lumière Électrique*, t. XLVI, p. 276 et 363, et dernièrement Kapp, E. T. Z, 1899, p. 134. Voir aussi un article de MM. Martin et Leblanc, *Lum. Élect.*, t. XLVI, p. 501.

***Forme des courants triphasés*, par O. Bragstad.** *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXI, p. 252 29 mars 1900.

Lorsqu'un courant triphasé parcourt un système de trois conducteurs seulement, la forme du courant est astreinte à certaines conditions. Les courants des trois conducteurs 1, 2, 3 doivent être alternatifs, de même forme et décalés d'un tiers de période. Soient $i_1\, i_2\, i_3$ les valeurs instantanées des trois courants : on peut les représenter par les fonctions

$$i_1 = f(x) \qquad = \Sigma\, A_{1n} \sin nx + \Sigma B_{1n} \cos nx$$

$$i_2 = f\left(x + \frac{2\pi}{3}\right) = \Sigma\, A_{2n} \sin n\left(x + \frac{2\pi}{3}\right) + \Sigma\, B_{2n} \cos n\left(x + \frac{2\pi}{3}\right)$$

$$i_3 = f\left(x + \frac{4\pi}{3}\right) = \Sigma A_{3n} \sin n\left(x + \frac{4\pi}{3}\right) + \Sigma B_{3n} \cos n\left(x + \frac{4\pi}{3}\right).$$

Par. symétrie, on a

$$A_1 = A_2 = A_3 = A$$
$$B_1 = B_2 = B_3 = B.$$

De plus, nous avons la condition $i_1 + i_2 + i_3 = 0$, ou

$$A_n \sin nx + B^n \cos nx + A_n \sin n\left(x + \frac{2\pi}{3}\right) + B_n \cos n\left(x + \frac{2\pi}{3}\right) + A_n \sin\left(x + \frac{4\pi}{3}\right) + B_n \cos n\left(x + \frac{4\pi}{3}\right) = 0$$

On en déduit

$$\sin nx + \sin n\left(x + \frac{2\pi}{3}\right) + \sin n\left(x + \frac{4\pi}{3}\right) = 0 \quad (1)$$

$$\cos nx + \cos n\left(x + \frac{2\pi}{3}\right) + \cos n\left(x + \frac{4\pi}{3}\right) = 0. \quad (2)$$

L'équation (1) nous donne

$$\sin nx + \sin nx \cos n\frac{2\pi}{3} + \cos nx \sin n\frac{2\pi}{3} + \sin nx \cos n\frac{4\pi}{3} + \cos nx \sin n\frac{4\pi}{3} = 0.$$

Ce terme étant identiquement nul, on a

$$1 + \cos n\frac{2\pi}{3} + \cos n\frac{4\pi}{3} = 0 \quad (1a)$$

$$\sin n\frac{2\pi}{3} + \sin n\frac{4\pi}{3} = 0 \quad (1b)$$

(1a) nous donne

$$\cos n\frac{2\pi}{3} + 2\cos^2 n\frac{2\pi}{3} = 0$$

d'où

$$\cos n\frac{2\pi}{3} = 0$$

ou bien

$$\cos n\frac{2\pi}{3} = -\frac{1}{2} \quad (1c)$$

De même 1 b nous donne

$$\sin n\frac{2\pi}{3} = 0$$

ou

$$\cos n\frac{2\pi}{3} = -\frac{1}{2} \quad (1d)$$

L'égalité (2) conduit aux mêmes conditions.

Les deux conditions $\sin n\frac{2\pi}{3} = 0$ et $\cos n\frac{2\pi}{3} = 0$ sont contradictoires et contredisent d'ailleurs les deux autres. La seule condition nécessaire est donc

$$\cos n\frac{2\pi}{3} = -\frac{1}{2},$$

ce qui donne pour n la série de valeurs

$$n = k_1 + 3k_2$$

où K_1 est égal à 1 ou 2, et où K_2 est égal à 0 ou à un nombre entier. Donc n prend les valeurs.

$$n = 1, 2, 4, 5, 7, 8, 10, 11, 13, 14, 16, 17 \ldots.$$

Donc *dans un courant triphasé toutes les harmoniques d'ordre supérieur peuvent exister à l'exception de celles dont la fréquence est un multiple divisible par 3 de la fréquence initiale.*

Si les parties positives et négatives de la courbe du courant sont identiques, les harmoniques à période paire disparaissent. Donc les deux nombres K_1 et K_2 sont de parités différentes. Les harmoniques sont alors $n = 1 + 3K$ (K pair) ou $n = 2 + 3K$ (K impair).

Ce qui donne pour n la suite

$$x = 1, 5, 7, 11, 13, 17, 19, 23 \ldots.$$

Les harmoniques supérieures sont également décalées de $\frac{1}{3}$ de période et forment un courant polyphasé d'ordre supérieur. La fig. 1 représente l'harmonique $n = 5$. Il y a forcément un endroit où la somme de ces trois nouveaux courants est nulle, par exemple aux bornes de la génératrice. Considérons le cas d'une génératrice montée en étoile. Les forces électromotrices induites dans les diverses phases peuvent avoir des ondes d'un ordre supérieur. Parmi ces ondes, les unes sont telles que le rapport de leur fréquence à la fréquence de l'onde principale est un multiple de 3. Celles-ci ne sont pas décalées mais se produisent synchroniquement dans les trois branches. Elles s'annulent donc réciproquement et leur effet extérieur est nul; neus les désignerons sous le nom de *tensions intérieures*. La force électromotrice induite dans une phase sera représentée par

$$e_p = \Sigma A_n \sin(x + \varphi_n).$$

où n est un entier quelconque.

La tension effective sera

$$E_p^2 = \frac{1}{2} \Sigma A_n^2 .$$

Si n désigne un nombre non multiple de 3, il correspondra à chaque onde A_p de la tension

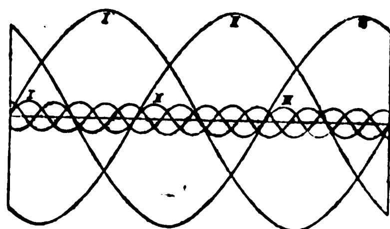


Fig. 1.

d'une phase, une onde B_p de la tension composée telle que

$$B_p = \sqrt{3}\, A_p .$$

La valeur effective des tensions des phases qui n'ont pas de répercussion extérieure est donnée par

$$E_i^2 = \frac{1}{2} \Sigma A_\nu^2 \text{ où } \nu \text{ est multiple de 3.}$$

où ν est multiple de 3.

La valeur effective de la tension composée sera E_v telle que

$$E_v^2 = \frac{1}{2} \Sigma B_p^2 = \frac{1}{2}\, 3\, \Sigma A_p^2$$

avec

$$\Sigma A_p^2 = \Sigma A_n^2 - \Sigma A_\nu^2.$$

Donc

$$E_v^2 = 3\left(\frac{1}{2} \Sigma A_n^2 - \frac{1}{2} \Sigma A_\nu^2\right) = 3\,(E_p^2 - E_i^2)$$

$$E_v = \sqrt{3}\, \sqrt{E_p^2 - E_i^2}. \qquad \text{(II)}$$

Cette formule permet de calculer la tension composée en fonction de la tension par phase et de la tension intérieure.

Si on néglige cette dernière, on a la formule usuelle

$$E_v = \sqrt{3}\, E_p.$$

Mais, comme on le verra plus loin, les résultats qu'on obtient ainsi sont trop grands.

Dans le montage en triangle, les tensions intérieures ne peuvent s'annuler et donnent lieu à des courants intérieurs.

L'existence et la fréquence des tensions intérieures ont été vérifiées sur une machine homopolaire à inducteurs fixes de 8 kilowatts et 120 volts composés.

Les phases I, II, III (fig 2) furent montées en

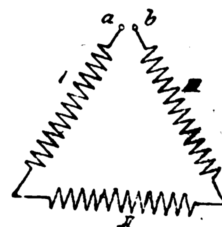


Fig. 2.

triangle avec un angle ouvert. Au moyen d'un contact tournant, on détermine la forme des courbes de force électromotrice des trois phases ainsi que de la tension entre a et b La figure 3

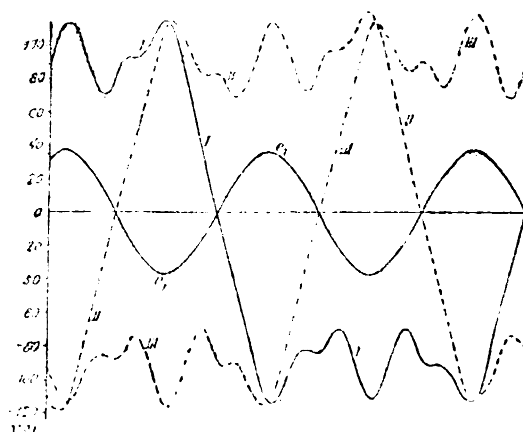


Fig. 3.

représente ces courbes ; I, II, III sont les courbes des trois phases ; e_i représente la tension entre a et b mais à une échelle qui n'est que le tiers de la première pour ne pas trop mêler les courbes ; or, comme les trois tensions intérieures s'ajoutent, la courbe e_i représente en vraie grandeur la tension intérieure de l'une des phases ; cette tension est ici très grande, car l'harmonique de fréquence triple a une amplitude considérable.

Pour étudier ce qui se passe dans le montage en étoile, on a réalisé le dispositif de la figure 4. Les phases I, II, III sont réunies aux extrémités libres de trois résistances non inductives montées en étoile : entre les deux points neutres O_1 O_2 on a inséré un voltmètre à courants alternatifs. Soient l_{p1} l_{p2} l_{p3} les valeurs instantanées

des tensions des phases, et $j_1\, j_2\, j_3$ les valeurs instantanées des courants dans les résistances

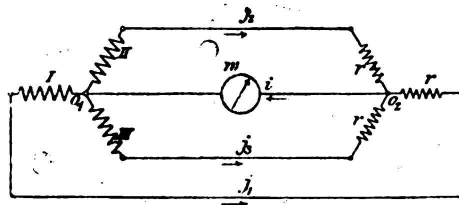


Fig. 4.

r, i, le courant qui traverse le voltmètre dont la résistance est ω. On a

$$e_{p1} = i\omega + j_1 r$$
$$e_{p2} = i\omega + j_2 r$$
$$e_{p3} = i\omega + j_3 r$$
$$e_{p1} + e_{p2} + e_{p3} = 3\, i\omega + (j_1 + j_2 + j_3)\, r.$$

Or, si on désigne par e_i la valeur instantanée de la somme des tensions intérieures, on a

$$e_{p1} + e_{p2} + e_{p3} = e_i$$
$$j_1 + j_2 + j_3 = i$$

donc

$$e_i = 3\omega i + ri.$$

Passant aux valeurs effectives

$$E_i = 3\omega\, J + rJ.$$

Si V est la tension lue sur le voltmètre

$$E_i = 3V + \frac{r}{\omega} V = \frac{3\omega + r}{\omega} V.$$

Si ω est très grand par rapport à r, on a $E_i = 3\, V$.

Donc V représente la tension intérieure d'une phase.

Pour prouver que la tension entre les points O_1 et O_2 provient effectivement des harmoniques supérieures, on peut prendre la courbe de la tension entre ces deux points. Cette courbe a été trouvée identique à celle de la figure 3.

La dernière méthode permet de mesurer aussi les tensions intérieures quand l'alternateur débite. Le tableau ci-dessous résume les résultats d'une série d'essais pour lesquels le courant d'excitation et la vitesse ont été maintenus constants.

Dans ce tableau, E_v est la tension composée, E_p la tension des phases, E_i la tension intérieure, J_a le courant de chaque phase, $E_p' = \sqrt{E_p^2 - \left(\frac{E_i}{3}\right)^2}$ représente la partie de la tension d'une phase qui provient des harmoniques décalées de 120°. Cette partie seule entre dans l'expression de la tension composée qui est égale à $E_v' = \sqrt{3}\, E_p'$. Le tableau montre que les valeurs calculées E_v' sont très voisines des valeurs mesurées E_v. Par contre $\sqrt{3}\, E_p$ est sensiblement plus grand que la tension composée. Enfin les tensions intérieures diminuent quand le débit augmente.

E_v	E_p	E_i	J_a	E'_p	E_v'	$\sqrt{3}\, E_p$	
120	71,8	59,2	0	69,0	119,8	124,2	Fréquence 50
115,5	69,4	57,9	18,6	66,7	115,5	120	
113.3	68,1	56,6	25,3	65,4	113,2	118	
111	66,5	55,7	32,4	63,8	110,6	115	
108,5	65,2	55,4	38,8	62,5	108,2	112.8	

Dans le montage en triangle, les tensions intérieures produisent des effets très nuisibles en donnant naissance à des courants intérieurs dans l'induit et par suite à des échauffements. Pour mesurer l'intensité de ces courants sur la machine homopolaire de 8 kilowatts on a fait une seconde série d'essais avec un dispositif analogue à celui de la fig. 2. Pour différentes excitations, on a mesuré la tension par phase E_p et la somme des tensions intérieures E_i entre a et b. Puis on ferma le triangle au moyen d'un ampèremètre inséré entre a et b et on mesura le courant intérieur J_i ainsi que la tension E_p' de

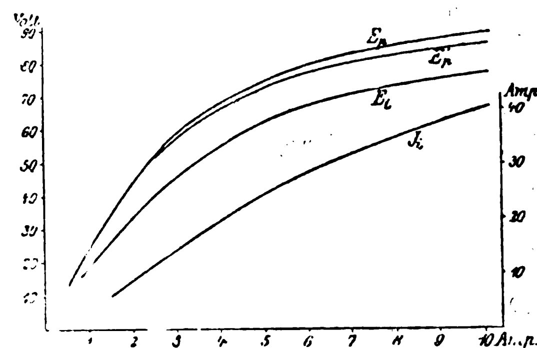


Fig. 5.

chaque phase. La figure 5 donne la grandeur de ces nombres en fonction du courant d'excitation.

L'intensité du courant qui parcourt le triangle est facile à calculer. Soit J_i le courant intérieur

produit dans une phase par les harmoniques synchrones; J_p le courant total d'une phase; J_v le courant composé extérieur. On a

$$J_v = \sqrt{3}\sqrt{J_p^2 - J_i^2}$$

ou

$$J_i = \sqrt{J_p^2 - \frac{J_v^2}{3}}.$$

Comme les harmoniques synchrones ont des périodes qui n'existent pas dans le courant extérieur, ces harmoniques sont déwattées par rapport au courant triphasé. Si nous mesurons la puissance d'un alternateur triphasé monté en étoile en intercalant la bobine à gros fil du wattmètre dans une phase et la bobine à fil fin entre le point neutre et l'extrémité de la phase, nous obtiendrons la vraie puissance de cette phase.

Si nous employons un voltmètre et un ampèremètre, la puissance obtenue est trop grande, car elle contient la tension des harmoniques synchrones. Nous obtenons également un décalage trop grand pour le circuit extérieur. Dans le montage en triangle, on a des effets semblables.

On peut donc parler d'un *facteur de puissance intérieur* d'un alternateur triphasé. Ce facteur est égal, pour le montage en étoile avec charge non inductive à

$$\cos \varphi_i = \frac{W_p}{E_p J_p} = \frac{W_p}{J_p \sqrt{E_{p'}^2 + E_i^2}}$$

$$W_p = J_p E_p, \text{ donc } \cos \varphi_i = \frac{E_{p'}}{\sqrt{E_{p'}^2 + E_i^2}} = \frac{E_{p'}}{E_p}.$$

Graphiquement nous obtenons la figure 6.

Cette formule est applicable au montage en

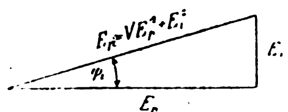


Fig. 6.

triangle 6, en remplaçant les tensions par les intensités.

$$\cos \varphi_i = \frac{J_{p'}}{J_p} = \frac{J_{p'}}{\sqrt{J_{p'}^2 + J_i^2}}$$

avec

$$J_{p'} = \frac{J_v}{\sqrt{3}}$$

où J_v est l'intensité extérieure.

Comme les pertes, dans une machine, dépendent de la puissance intérieure apparente, on a intérêt à avoir $\cos \varphi_i$ voisin de 1.

E. Beuton.

RECHERCHES THÉORIQUES

Théorie électro-atomique des métaux, par **P. Drude.** *Dr. Ann.* t. I, p. 566-614, mars 1900.

W. Weber a émis l'hypothèse que le transport de l'électricité dans les conducteurs métalliques se fait par la convection de petites particules électrisées, par un mécanisme analogue à celui qu'on a coutume de considérer dans les électrolytes. Giesel a plus tard développé cette hypothèse que Drude reprend, pour en faire la base d'une théorie d'ensemble.

Il donne à ces particules le nom de *noyaux électriques* ou simplement *noyaux*. Ces noyaux ne possèdent pas de masse matérielle, ou tout au moins il n'est pas nécessaire de leur assigner une pareille masse. Ceci n'empêche pas qu'ils peuvent acquérir une certaine énergie cinétique ou force vive : il suffit de leur attribuer une self-induction, en d'autres termes de leur attribuer un coefficient d'inertie, variable avec leur charge électrique et leurs dimensions. On s'affranchit ainsi de la nécessité de distinguer deux sortes de noyaux les uns positifs, les autres négatifs, pour lesquels le rapport de la charge à la masse matérielle serait différent.

La nature des noyaux peut être très variée : rien n'empêche d'en supposer un nombre de variétés aussi grand qu'on veut, se distinguant l'une de l'autre par la valeur absolue et le signe de leur charge. Cependant, pour conserver la notion de masse électrique, il convient d'admettre que toutes ces charges sont des multiples entiers de la plus petite d'entre elles.

Aux noyaux ainsi définis, on appliquera les principes de la théorie cinétique des gaz.

L'énergie cinétique des noyaux sera supposée proportionnelle à la température absolue et la constante de proportionnalité aura la même valeur que la constante des gaz ($\alpha = 5{,}6\ 10^{-17}$ CGS. en unités thermodynamiques).

La conductibilité calorifique résulte du choc des noyaux : le chemin moyen des noyaux aura la même expression que le chemin moyen des molécules gazeuses dans la théorie cinétique. La

conductibilité électrique se calculera d'une manière analogue et on trouvera que le rapport des deux est proportionnel à la température absolue : c'est la loi de Wiedemann-Franz. Il faut supposer pour cela que les métaux ne renferment qu'une seule espèce de noyaux : comme la loi de Wiédemann-Franz se vérifie approximativement, cette supposition se trouve justifiée.

Si on suppose que le nombre des noyaux dépend de la température, il s'ensuit des exceptions à la loi de Wiedemann, à condition que le métal renferme au moins deux espèces de noyaux. L'existence de plusieurs phénomènes, tels que les rayons cathodiques, les rayons-canal, la formation des ions cathodiques dans les électrolytes suggère l'idée que, seuls, les noyaux négatifs se meuvent librement, tandis que les noyaux positifs sont liés aux atomes pondérables du métal. Mais cette hypothèse n'est pas applicable aux métaux qui ne suivent pas la loi de Wiedemann et les écarts sont d'autant plus grands que les conductibilités des deux espèces de noyaux sont plus voisines l'une de l'autre.

De plus, quand le nombre des noyaux dépend de la température, il faut que le courant calorifique soit accompagné d'un courant électrique, comme l'avait admis déjà Kohlrausch ; en d'autres termes, une différence de température entre deux points d'un conducteur entraîne l'existence d'une différence de potentiel électrique entre ces deux points, en sens contraire de la différence de température. Quand on veut faire passer un courant dans le conducteur en sens contraire de la chute de température, il faut dépenser un certain travail pour vaincre cette force contre-électromotrice : c'est à ce travail que correspond le phénomène Thomson.

La différence de potentiel entre deux métaux en contact doit être telle qu'elle fasse équilibre à la tendance que possèdent les noyaux des deux métaux à se diffuser de l'un dans l'autre. La condition d'équilibre s'exprime par une équation analogue à celle de Guldberg et Waage : le produit du nombre de noyaux positifs libres par le nombre de noyaux négatifs libres est une même fonction de la température, quel que soit le métal considéré.

En continuant à appliquer aux noyaux les équations de la dissociation, on peut encore calculer la force électromotrice thermoélectrique. Dans le cas particulier où le nombre des noyaux d'une certaine espèce est, dans les deux métaux, indépendant de la température, la force thermoélectrique est proportionnelle à la différence de température des deux soudures.

L'effet Peltier se calcule aisément : il suffit d'admettre que les noyaux sont libres de se mouvoir dans l'intérieur du métal, mais non de traverser la surface libre de ce dernier.

La différence de potentiel entre deux électrolytes différents, ou de même nature, mais de concentrations inégales, s'explique et se calcule par des considérations tout à fait analogues : on obtient les équations établies par Nernst. Il en est de même pour la force thermoélectrique des piles à électrolytes.

Entre un métal et un électrolyte, l'équilibre électrique est réalisé quand le même nombre de noyaux passe du métal à l'électrolyte et en sens inverse de l'électrolyte au métal. La théorie présente conduit aux mêmes conséquences que la théorie des tensions de dissolution de Nernst.

La masse électrique apparente d'une même espèce de noyaux n'est pas toujours égale dans des métaux différents, même si le rayon des noyaux reste constant : cette masse est en effet proportionnelle à la concentration des noyaux et cette concentration varie d'un métal à l'autre. Même elle peut varier dans un métal déterminé suivant les circonstances : mais ces variations seront toujours faibles, sauf dans des cas particuliers : par exemple dans les métaux qui émettent des ondes lumineuses très courtes.

M. L.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

ACADÉMIE DES SCIENCES

Séance du 21 mai 1900.

L'éther envisagé comme principe universel des forces, par **Marx**, *Comptes rendus*, t. CXXX, p. 1272-1274.

M. Marx, inspectenr général des Ponts et Chaussées en retraite, a soumis au jugement de de l'Académie une suite de Mémoires dans lesquels il a poursuivi l'application, aux divers chapitres de la physique, d'une théorie de l'*éther* envisagé comme le *principe universel des forces*.

Le point de départ de ce système est inspiré de l'hypothèse de Fresnel, pour qui chaque atome pondérable était entouré d'une atmosphère d'éther condensé.

M. Marx transforme cet énoncé en admettant qu'au sein de l'éther *se comportant comme un gaz parfait,* l'atome pondérable, analogue au centre d'une sphère électrisée négativement, constitue un *centre de dépression* en équilibre de tension avec le milieu ambiant.

De la sorte, la matière sensible aurait la faculté d'enlever au milieu général de l'éther une certaine quantité d'énergie servant à alimenter ses propres vibrations. Celles-ci, à leur tour, feraient naître dans le milieu ambiant des ondulations sphériques.

En partant de cette conception M. Marx est parvenu à rendre compte de la gravitation, de l'électrostatique, de l'électrodynamique, de l'induction [1].

[1] Une commission composée de MM. Boussinesq, Cornu, Poincaré, Sarrau et de Lapparent, a été chargée de l'examen des mémoires de M. Marx. Le rapporteur de cette commission, M. de Lapparent, s'exprime ainsi :

« Pour M. Marx, l'atome étant infiniment petit, les ondulations qu'il engendre se développent de façon uniforme et se propagent longitudinalement dans toute l'étendue de l'éther. De deux atomes en présence, chacun, noyé dans la gerbe dépressive émanée de l'autre, est poussé vers son voisin tout comme si les deux atomes s'attiraient mutuellement, en raison directe de l'intensité des actions dépressives et en raison inverse du carré des distances.

» Ainsi la gravitation universelle apparaît comme une conséquence immédiate de la notion du centre de dépression.

» Quant à la molécule des corps ou éléments chimiques, l'auteur y voit un agrégat d'atomes, dont chacun influe sur l'état de dépression de l'atmosphère éthérique propre à la molécule. Celle-ci devient de la sorte un centre d'action complexe, dont la modalité formerait le facteur principal de la constitution des corps pondérables.

» L'éther serait donc à la fois l'agent universel de propagation des énergies émises par les centres actifs, et le réservoir général où viendraient rentrer, sous des modalités diverses, les énergies issues de ce milieu, toujours prêtes à prendre part à la manifestation des phénomènes de tout ordre qui, dans le monde de la matière, constituent le mouvement et la vie.

» Après ces préliminaires, M. Marx entre dans des considérations, que nous ne pouvons développer ici, sur la différence de propagation des ondulations gravifiques ou longitudinales, et de celles auxquelles il attribue les phénomènes électriques et optiques. Il regarde celles-ci comme hélicoïdales et croit pouvoir indiquer, dans leur constitution, des particularités qui rendraient compte de la polarisation ainsi que de la formation des rayons X.

» Appliquant son système à l'Electrostatique, l'auteur constate que le voisinage des centres actifs en vibration doit mettre l'éther dans un état de tension qui en fait un véritable diélectrique. Il croit trouver dans la même analyse l'explication du courant de retour de Maxwell, ainsi que celle de l'augmentation de volume de la bouteille de Leyde en charge.

» En Electrodynamique, l'auteur explique la formation du courant de la pile, dans le fil conducteur, par des vibrations dynamiques issues du pôle de plus forte tension, et faisant naître dans le fil des ondulations impulsives qui se traduisent par une élévation de température. D'ailleurs, en vertu de l'incompressibilité que, dans les limites des expériences, l'éther paraît devoir offrir sur toute l'étendue du fil, cette chute de potentiel reproduirait naturellement les circonstances habituelles de l'Hydrodynamique.

» Ce n'est pas ici le lieu de suivre M. Marx dans les applications toujours ingénieuses qu'il a faites de son système aux phénomènes d'induction comme à ceux des courants à courte période. Il suffira de constater que l'auteur n'a rencontré, parmi les faits connus, rien qui lui semblât rebelle à sa doctrine. Si l'on ne peut pas dire qu'il ait réussi à mettre sa théorie sous la forme analytique, qui seule permettra d'en juger définitivement la valeur, du moins est-il juste de reconnaître que cette synthèse, où se manifeste l'effort d'établir un enchaine-

Sur la répartition des courants et des tensions en régime périodique établi le long d'une ligne polyphasée symétrique présentant de la capacité, par **Ch. Eug. Guye.** *Comptes rendus*, t. CXXX, p. 1382-1383.

Cette note a pour but de montrer que le problème de la répartition des courants et des

tensions le long d'une ligne polyphasée symétrique peut être ramené à celui d'une ligne monophasée, à la condition de ne considérer que le *régime périodique établi*. Nous ne faisons que la signaler, un article de l'auteur où celui-ci développe les considérations données dans cette note devant être publié dans un prochain numéro de ce journal.

Sur la syntonie dans la télégraphie sans fil, par **A. Blondel**. *Comptes rendus*, t. CXXX, p. 1383-1386.

Des résultats des travaux théoriques de M. H. Poincaré et des recherches expérimentales de M. V. Bjerkness sur l'amortissement des oscillations électriques dans un oscillateur et dans un résonateur, M. Blondel conclut que les oscillations de l'antenne d'émission sont très rapidement amorties et n'ont pas le temps de donner lieu à l'établissement d'une véritable résonance au poste récepteur. C'est selon lui ce rapide amortissement qui est la cause du peu de succès obtenu jusqu'ici avec les dispositifs imaginés par Marconi, Lodge, Tietz, etc., pour mettre en résonance le poste réception et le poste transmetteur et assurer ainsi, du moins dans une certaine limite, le secret des communications échangées entre les deux postes.

Pour cette raison M. Blondel a songé à un autre procédé de synchronisation et dès le 16 août 1898, il déposait à l'Académie un pli cacheté où il en indiquait le principe ainsi que le dispositif permettant de le mettre en pratique [1].

Au lieu de chercher à accorder ensemble les fréquences des oscillations électriques propres du transmetteur et du récepteur, M. Blondel accorde deux fréquences artificielles plus basses, tout à fait arbitraires et indépendantes des antennes, à savoir la fréquence des charges de l'antenne et celle des vibrations d'un téléphone sélectif, tel que les monotéléphones de M. Mercadier ; il suffit alors de maintenir la fréquence de l'interrupteur du poste transmetteur bien constante et égale à la fréquence forte du téléphone récepteur.

Dans sa note de 1898 M. Blondel prévoyait l'emploi d'un tube à vide remplaçant le cohéreur ; ce tube à vide pourrait être aujourd'hui avantageusement remplacé par des tubes à décohérence spontanée, tels que les cohéreurs à charbon signalés récemment par MM. Tommasina, Hughes, etc., qui sont bien plus sensibles que les tubes à vide.

---

ment logique qui ramène tout à une simple question d'énergétique, offre, comme mode d'exposition scientifique, de réels avantages.

» La représentation des phénomènes y demeure concrète. L'éther n'y est pas doté de propriétés qu'on puisse dire inconciliables. En même temps, la notion de forces agissant à distance est partout remplacée par des conceptions qui ne soulèvent pas d'objections philosophiques.

» En résumé, c'est l'œuvre d'un penseur en même temps que d'un homme de science très versé dans les choses de la physique, et si nous devons faires des réserves sur quelques points, nous ne pouvons qu'encourager l'auteur à poursuivre ses études, avec l'espoir qu'il lui sera possible de préciser ses conceptions fondamentales au point de les rendre saisissables par l'analyse mathématique. »

[1] Voici un extrait de la note contenue dans le pli cacheté :

« *Emploi du téléphone comme appareil récepteur.* — Au lieu d'un relai actionnant un appareil Morse ou une sonnerie, on peut, avec les tubes à vide, employer un téléphone placé en dérivation comme ce relai et traduire directement en lettres les signes Morse reçus. Cette modification qui n'a pas encore été proposée simplifie énormément les appareils, étant donné surtout qu'actuellement la vitesse d'inscription obtenue est très faible à cause du cohéreur ; elle augmente beaucoup la sensibilité, car il n'y a pas de relai plus sensible qu'un téléphone. Elle permet enfin de différencier les relais comme on le verra ci-dessous...

» On place en série avec le téléphone, une batterie de piles insuffisante pour rompre seule la résistance du tube à vide, mais suffisante pour produire un courant à chaque passage d'un courant oscillatoire dans le tube. Le téléphone rend alors un son à chaque émission de signal par la station génératrice et ce son est déterminé par le nombre de charges par seconde de l'antenne génératrice.

» A faible distance, les courants de l'antenne réceptrice peuvent être assez forts pour qu'il suffise de placer le téléphone en série avec l'antenne réceptrice sans interposition de tube à vide.

» L'avantage des deux derniers modes d'emploi du téléphone c'est qu'on peut faire varier la hauteur du son par la fréquence des émissions d'ondes à la station génératrice. On peut ainsi différencier très aisément diverses stations d'émission, et même, en employant des téléphones spéciaux qui ne répondent qu'à un son donné, réaliser des récepteurs sélectifs.

» Ces dispositifs pourront rendre des services importants dans une série d'applications où il s'agit plutôt d'émettre des signaux que de faire de la télégraphie. Par exemple, les navires faisant le service entre la France et l'Amérique pourraient adopter des sons très différents suivant qu'ils vont dans un sens ou dans l'autre et avoir des récepteurs accordés sur le son des navires qu'ils risquent de croiser et insensibles à leurs propres signaux, etc.

Une modification au dispositif décrit dans cette note pourrait également être employé : On monte un tube détecteur en série sur une antenne et l'on relie en dérivation à ses bornes un circuit comprenant le téléphone, avec au besoin une self-induction additionnelle, et la pile, qu'on shunte par un condensateur. On règle la capacité de celui-ci de façon à réaliser la condition $\left(\frac{2\pi}{T}\right)^{1} LC = 1$, où T désigne la fréquence des charges de l'antenne d'émission ; le circuit formé par le tube, le téléphone et le condensateur est alors en résonance ou plutôt en pseudo-résonance avec le poste d'émission et l'on peut en tirer parti soit pour sélectionner les signaux avec un téléphone quelconque, soit pour renforcer l'effet sélectif d'un monotéléphone de même fréquence.

Les circuits récepteurs de fréquences différentes pourraient être montés aux bornes d'un même tube. M. Blondel pense qu'il vaut mieux les monter sur des tubes différents placés sur des antennes distinctes. De cette manière un même poste peut correspondre à la fois avec un nombre quelconque d'autres postes et les signaux échapper à la perception de tout poste non accordé pour les recevoir.

Communications par télégraphie sans fil à l'aide de radioconducteurs à électrodes polarisées, par **C. Tissot**.

Avec les appareils cohéreurs à limaille magnétique qu'il décrivait récemment, M. le lieutenant Tissot est parvenu à établir des communications d'une netteté parfaite à une distance de 33 milles marins (61 km) entre un cuirassé et le phare du Portzic, les antennes des deux postes étant seulement à 30 m de hauteur. Ces communications n'ont pas consisté seulement en la transmission de signaux, mais bien en l'échange de phrases complètes, télégraphiées en clair et interprétées au Morse par des matelots télégraphistes. Ce résultat, obtenu sans l'emploi d'aucun des dispositifs spéciaux brevetés par Marconi est des plus remarquables et, suivant M. Tissot, il démontre non la supériorité, mais les excellentes qualités des tubes employés [2].

[1] *L'Écl. Élect.*, t. XXIII, p. 78, 14 avril 1900.

[2] « Ces tubes, dit M. Tissot, présentent les particularités suivantes :

» La limaille magnétique, obtenue à l'aide d'une râpe très propre et *aussi peu oxydée que possible*, est aussitôt tamisée et enfermée jusqu'au moment de l'emploi dans des tubes scellés et bien secs.

» Les électrodes qui sont en fer (ou variétés) sont décapées avec soin à la toile émerisée. On fait, immédiatement après le remplissage, le vide dans le radioconducteur et, par surcroît de précaution, on enferme dans une ampoule latérale quelque fragments de *carbure de calcium*. Dans de pareilles conditions, la circonstance que les électrodes et la limaille sont *oxydables* ne paraît devoir jouer qu'un rôle restreint dans le phénomène.

» En fait, l'intérieur du tube étant parfaitement sec, la surface des électrodes et les grains de limaille restent aussi brillants après plusieurs semaines qu'au moment de la fermeture du tube.

» Ces radioconducteurs à électrodes polarisés possèdent la propriété précieuse de présenter, suivant l'heureuse expression de M. Blondel, une tension critique de cohérence variable à volonté par simple variation du champ magnétique.

» On peut, en effet, sans cesser d'obtenir des signaux parfaitement nets, c'est-à-dire en conservant la même sensibilité et une égale facilité de retour, mettre sur le *même tube* des forces électromotrices variant de 0,5 à 4 volts.

» J'ai signalé autrefois à la Société de Physique le fait que les tubes les plus sensibles présentent toujours une légère conductibilité. Le fait, qui, je crois, a été constaté aussi par M. Branly, est très apparent avec les tubes à électrodes polarisés convenablement réglés.

» La résistance d'un pareil tube, sans champ magnétique, dépasse généralement 300 000 ohms et atteint parfois 500 000 ohms.

» Avec le champ voulu, cette résistance tombe à des valeurs comprises entre 1 000 ohms et 2 000 ohms seulement.

» Dans les conditions d'emploi, le relai cesse de fonctionner lorsque la résistance du tube atteint 3 000 ohms et fonctionne franchement quand cette résistance tombe au-dessous de 1 500 ohms.

» L'action de l'onde fait tomber la résistance du tube à des valeurs d'autant plus faibles que son intensité est plus considérable.

» Pour une action très énergique, c'est-à-dire lorsque le transmetteur est près, la résistance tombe aux environs de 5 ohms ; mais, à mesure que le transmetteur s'éloigne, la résistance du tube cohéré croît très rapidement et dépasse bientôt 400 à 500 ohms.

» Aux distances limites, qui ne paraissent pas d'ailleurs avoir été atteintes dans les expériences de communication mentionnées, la résistance tombe seulement à 1 500 ohms. Ces résistances, qui sont celles que prend le tube à circuit ouvert (au moment de la cohérence), ne paraissent nullement d'ailleurs conserver les mêmes valeurs lors du fonctionnement normal. L'accroissement brusque d'intensité du courant qui résulte de la chute relative de résistance semble avoir pour effet, entre certaines limites que je me propose de déterminer, d'augmenter encore la chute de résistance, ce qui permet la marche régulière de l'appareil. »

Le Gérant : C. NAUD.

Tome XXIII. Samedi 9 Juin 1900. 7e Année. — N° 23

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

L'EXPOSITION UNIVERSELLE

APPAREIL RIEDER POUR LA GRAVURE ÉLECTROLYTIQUE DES MÉTAUX (¹)

La confection des matrices en acier pour la frappe des médailles, des monnaies et autres objets faible relief ou encore pour l'estampage des feuilles métalliques, du cuir et du carton, exige de la part de l'ouvrier graveur une habileté toute spéciale; le prix de la main-d'œuvre est conséquemment très élevé. Aussi a-t-on cherché depuis longtemps un procédé permettant d'obtenir, sans faire appel au travail manuel ou tout au moins sans lui donner une part prépondérante, un nombre indéfini des matrices reproduisant fidèlement en creux le modèle primitif de l'artiste graveur ou ciseleur.

L'électrolyse a donné une première solution du problème de la manière suivante : on fait par galvanoplastie un négatif en cuivre de l'objet à reproduire et sur la surface de cette matrice en cuivre on dépose une couche de fer électrolytique que l'on cémente ensuite. Mais ce procédé, peu pratique par suite des difficultés que présente l'électrodéposition du fer, a encore l'inconvénient de ne pas permettre la confection de matrices profondément fouillées.

M. Rieder a cherché la solution dans une autre voie : la corrosion graduelle d'une plaque d'acier par l'électrolyse.

Principe du procédé. — Cette corrosion s'effectue de la manière suivante : un bloc de plâtre portant à sa partie supérieure un moulage du relief à reproduire est à demi plongé dans une dissolution de chlorure d'ammonium; sur le relief est posée la plaque d'acier

(¹) Appareil exposé à la Section allemande, galerie Suffren, premier étage, par la Société l'Electrogravure, de Leipzig.

**

que l'on veut graver. Cette plaque est reliée au pôle positif d'une source d'électricité; une feuille de cuivre plongée dans la solution et disposée au-dessous du bloc de plâtre est reliée au pôle négatif de cette source; le circuit se trouve fermé par la solution de chlorure d'ammonium qui, par suite de la porosité du plâtre, ne tarde pas à monter par capillarité jusqu'à la plaque d'acier. Le chlorure d'ammonium est alors électrolysé et du chlore vient attaquer la plaque d'acier aux points où elle est en contact avec le relief en plâtre; le chlorure de fer formé se dissout et la plaque se creuse peu à peu en ces points; d'autres points du relief viennent successivement en contact et l'on finit par obtenir un moule en creux du modèle.

Difficultés pratiques du procédé. — Mais si le principe du procédé est simple, sa réalisation pratique présente de nombreuses difficultés que l'inventeur n'a pu surmonter qu'après trois ans d'efforts persévérants.

Tout d'abord, M. Rieder reconnut que le moule en plâtre et la plaque d'acier ne pouvaient être maintenus longtemps en contact et cela pour deux raisons. La première est que la diffusion de l'électrolyte s'effectuant lentement à travers le bloc de plâtre, la surface de celui-ci ne tarde pas à ne plus contenir de chlorure d'ammonium et dès lors l'attaque de la plaque s'arrête; la seconde est que l'acier contient des substances inattaquables par le chlore, du carbone notamment, qui doivent être enlevées fréquemment par un nettoyage de la plaque.

D'autre part, il ne tarda pas à s'apercevoir que pour la confection des matrices un peu fouillées, un seul modèle en plâtre ne suffisait pas : à cause de la fragilité du plâtre, les parties saillantes du modèle étaient détériorées avant la gravure complète de la plaque. Il chercha bien à obvier à cet inconvénient en mélangeant au plâtre diverses substances lui donnant plus de dureté, mais outre que de nouvelles difficultés se présentèrent dans cette voie, la réalisation d'un modèle résistant n'évitait pas la nécessité, pour les raisons indiquées plus haut, de séparer et remettre en contact très fréquemment le modèle en plâtre et la plaque.

M. Rieder chercha donc un dispositif permettant de remettre rigoureusement dans la même position relative le modèle et la plaque, après le nettoyage de celle-ci ou le remplacement de celui-là. Dans un premier appareil, construit à la fin de 1897, la mise en place de la plaque se faisait à la main, des repères facilitant l'opération. Après trois mois d'essais cet appareil fut complètement abandonné et remplacé par un second dans lequel la manœuvre était entièrement automatique. Mis en essais au commencement de 1899, cet appareil reçut peu à peu divers perfectionnements et un type définitif, celui qui figure à l'Exposition, fut construit à la suite de ces essais.

Appareil définitif. — Cet appareil, dont la figure 1 donne une vue d'ensemble et la figure 2 une coupe schématique, se compose d'un solide bâti en fonte A, renfermant deux cames B et C, deux leviers coudés D et E commandés par ces cames et une solide table de fonte T; sur les bords supérieurs de ce bâti roule un chariot F; à l'une de ses extrémités se trouve un support G.

La plaque à graver est fixée à ce support par l'intermédiaire d'une platine permettant d'en régler très exactement la position; le modèle de plâtre M, est placé dans un récipient R reposant sur la table T et rempli d'une solution de chlorure d'ammonium. Le chariot mobile F, porte une caisse H dans laquelle tourne une brosse K qu'arrose un filet d'eau amené par le tuyau a; à sa partie antérieure, est fixé un autre récipient L, contenant une solution de chlorure d'ammonium, et un rouleau de feutre sur lequel appuie un second

rouleau souple *b*. Enfin des bornes de connexions permettent de relier d'une part la plaque P, d'autre part le récipient R aux pôles d'une machine électrique.

La différence de potentiel nécessaire est de 12 à 15 volts ; l'intensité du courant dépend de la surface d'attaque : elle peut atteindre jusqu'à 50 ampères lorsque l'attaque embrasse toute la surface d'une plaque de 20 cm sur 30 cm.

Voici maintenant le fonctionnement de l'appareil : par le jeu de la came B et du levier D, la table T est soulevée jusqu'à ce que le modèle en plâtre vienne en contact avec la plaque P. Après 15 secondes environ de contact, la table s'abaisse et le chariot F, qui jusqu'alors était à l'extrémité droite de l'appareil, s'avance vers la gauche par le jeu de la came C et du levier F. En même temps le rouleau *b* est amené en avant du chariot. Par suite de son mouvement propre et de celui du chariot, ce rouleau vient en contact avec la surface en relief du bloc de plâtre et répand sur cette surface une partie de la solution de chlorure d'ammonium qui l'imprègne ; de la sorte, la surface du plâtre se trouve suffisamment imbibée de liquide. Pendant que cette opération s'effectue, la brosse K vient nettoyer la surface de la plaque à graver. Le chariot se retire ensuite, la table T se soulève, un nouveau contact se produit entre la plaque P et le modèle M, et le cycle des opérations qui viennent d'être décrites recommence.

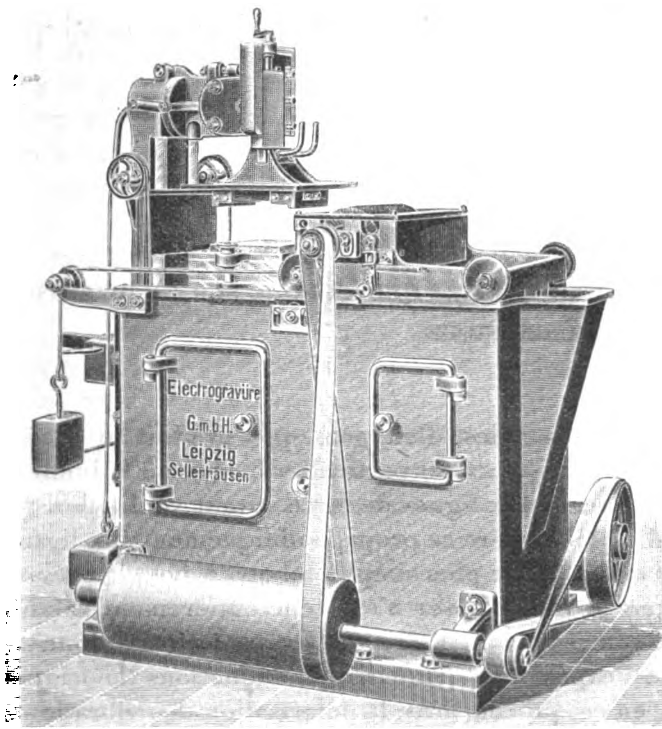


Fig. 1. — Vue d'ensemble de l'appareil Rieder.

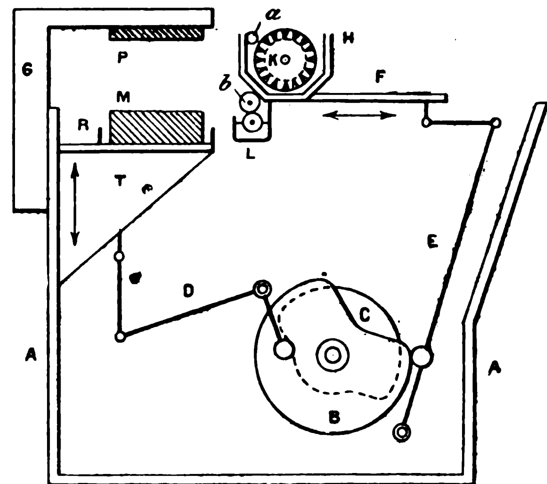


Fig. 2. — Coupe schématique de l'appareil Rieder.

Comme on le voit toutes ces opérations se font automatiquement ; l'exactitude avec laquelle les pièces reviennent à chaque cycle dans leurs positions antérieures ne dépend donc que de la précision de la machine. Quant aux remplacements des modèles de plâtre,

ils peuvent être effectués avec une aussi grande précision, au moyen de châssis parfaitement ajustés. Aussi M. Rieder est-il parvenu avec cet appareil à des matrices assez profondément fouillées et qui n'ont nécessité comme travail du graveur que quelques retouches destinées à faire disparaître dans les parties lisses les traces des légères aspérités que présente nécessairement la surface des modèles en plâtre. Comme la gravure d'une plaque de 20 × 30 cm ne demande que quinze heures alors qu'elle demanderait souvent un travail de plus d'un mois si elle était effectuée à la main, on conçoit sans peine l'énorme économie que permet de réaliser ce procédé ; il est donc à présumer que, grâce à lui, l'usage des matrices d'acier se développera dans diverses industries où leur emploi restait fort restreint par suite de leur prix trop élevé.

J. Blondin.

SUR LE PHÉNOMÈNE DE ZEEMAN

DANS LE CAS GÉNÉRAL D'UN RAYON INCLINÉ D'UNE MANIÈRE QUELCONQUE SUR LA DIRECTION DE LA FORCE MAGNÉTIQUE

I. Introduction. — 1. Les modifications des raies d'un gaz, que produit le champ magnétique, n'ont été étudiées jusqu'ici que dans deux cas particuliers, ceux où la lumière se propage parallèlement ou perpendiculairement aux lignes de force. Ayant voulu aborder l'étude du phénomène dans le cas général où la lumière se propage obliquement aux lignes de force, j'ai commencé à le considérer dans sa forme plus simple, tel qu'on peut la prévoir en partant de la théorie de Lorentz. Ce que je vais exposer n'est donc entièrement valable que pour les raies qui, dans le cas d'un rayon perpendiculaire aux lignes de force, donnent le triplet normal. On verra toutefois que l'expérience confirme les déductions théoriques même pour les quadruplets et sextuplets, en ce qui concerne la polarisation des vibrations.

Admettant avec M. Lorentz que la vibration circulaire d'une particule de la source change de période sous l'action du champ, on explique le phénomène de Zeeman suivant les lignes de force. Comme M. Cornu l'a démontré [1] le phénomène de Zeeman diffère de celui de Faraday en ce que les périodes des vibrations circulaires restent modifiées, pendant que pour le dernier ce sont seulement les vitesses qui changent. Mais il n'est pas aussi facile d'expliquer le phénomène de Zeeman dans le cas de la propagation perpendiculaire aux lignes de force. On va voir qu'il suffit de considérer la vibration de la particule dans l'espace, et de prendre ainsi en considération, non seulement les composantes transversales, mais aussi la composante longitudinale, pour déduire de la théorie de Lorentz l'explication du phénomène, non seulement dans le cas de la propagation transversale au champ, mais aussi dans le cas le plus général, qui est l'objet de cette étude.

II. Le phénomène de Zeeman dans le cas général. — 2. Pour trouver la vibration émise dans une direction quelconque par une particule de la source placée dans le champ magnétique on peut procéder de la manière suivante.

On décompose la vibration naturelle de la particule en trois composantes : une composante rectiligne dans la direction du champ, et deux composantes circulaires de sens

(1) *Journal de Physique*, 1897, p. 673.

contraires placées dans un plan perpendiculaire à la dite direction. On changera alors le nombre N de vibrations de la vibration circulaire qui a même sens que les courants d'Ampère, en $N + n$, et de N en $N - n$ celui de l'autre vibration circulaire. On trouvera enfin les composantes des vibrations ainsi en partie modifiées suivant de nouveaux axes, dont un est la direction de propagation. Les composantes perpendiculaires à cette dernière direction donneront la vibration cherchée.

Soit O (fig. 1) la particule vibrante, Oz la direction du champ, Ov la direction de propagation considérée, Oy la perpendiculaire au plan zOv, Ox une direction perpendiculaire au plan zOy, et Ou uneperpendiculaire au plan vOy. Les droites Ox, Ou seront contenues dans le plan zOv, qu'on pourra appeler, pour abréger, *plan méridien*.

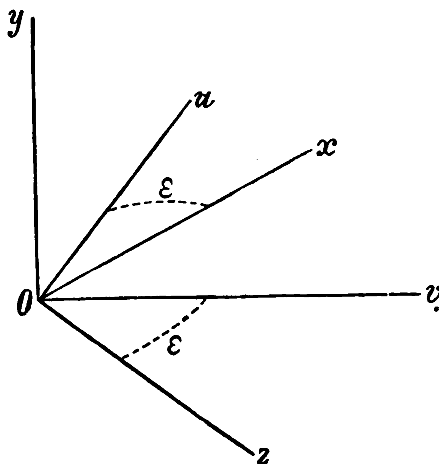


Fig. 1.

Soient

$$x = a \sin(\theta - \alpha), \quad y = b \sin(\theta - \beta), \quad z = c \sin(\theta - \gamma) \qquad (1)$$

les composantes suivant les axes x, y, z de la vibration, lorsque le champ n'existe pas, où $\theta = 2\pi t\, T = 2\pi N t$, T étant la période et N le nombre de vibrations.

Comme la particule émet dans toute direction de la lumière naturelle, on devra poser (¹)

$$M(a^2) = M(b^2) = M(c^2), \quad M[ab \cos(\alpha - \beta)] = 0,$$
$$M[ab \cos(\alpha - \beta)] = 0. \quad M[ac \cos(\alpha - \gamma)] = 0 \text{ etc.},$$

où les symboles $M(a^2)$,... $M[ab \cos(\alpha - \beta)]$,... représentent les valeurs moyennes des quantités a^2,... $ab \cos(\alpha - \beta)$,... pour un intervalle de temps très court, mais comprenant un grand nombre de périodes.

Appelant ε l'angle zOv compris entre la direction de propagation et la direction du champ, les composantes suivant les nouveaux axes u, y, v, seront :

$$u = a \cos\varepsilon \sin(\theta - \alpha) - c \sin\varepsilon \sin(\theta - \gamma)$$
$$y = b \sin(\theta - \beta)$$
$$v = a \sin\varepsilon \sin(\theta - \alpha) + c \cos\varepsilon \sin(\theta - \gamma).$$

Posant $u = u_d + u_s$, $y = y_d + y_s$, on peut écrire :

$$\left\{\begin{aligned} u_d &= \frac{a}{2}\cos\varepsilon \sin(\theta - \alpha) - \frac{b}{2}\cos(\theta - \beta) - \frac{c}{2}\sin\varepsilon \sin(\theta - \gamma) \\ y_d &= \frac{a}{2}\cos\varepsilon \cos(\theta - \alpha) + \frac{b}{2}\sin(\theta - \beta) - \frac{c}{2}\sin\varepsilon \cos(\theta - \gamma) \end{aligned}\right.$$

$$\left\{\begin{aligned} u_s &= \frac{a}{2}\cos\varepsilon \sin(\theta - \alpha) + \frac{b}{2}\cos(\theta - \beta) - \frac{c}{2}\sin\varepsilon \sin(\theta - \gamma) \\ y_s &= -\frac{a}{2}\cos\varepsilon \cos(\theta - \alpha) + \frac{b}{2}\sin(\theta - \beta) + \frac{c}{2}\sin\varepsilon \cos(\theta - \gamma). \end{aligned}\right.$$

On a substitué ainsi aux composantes données (1) la vibration rectiligne v et les deux circulaires (u_d, y_d) et (u_s, y_s), dont la première est dextrogyre et la deuxième lévogyre.

Soient à présent U_d, Y_d ce que deviennent u_d, y_d en changeant N en $N + n$, ou θ en θ

(¹) MASCART, *Traité d'Optique*, t. I, p. 541.

$+ \omega$, en posant $2\pi nt = \omega$, et U_s, Y_s ce que deviennent u_s, y_s lorsqu'on y change θ en $\theta - \omega$. $U_d + U_s$, $Y_d + Y_s$ et $V = v$ seront alors les composantes suivant les axes u, y, v de la vibration modifiée par le champ magnétique, en supposant le champ magnétique dextrogyre, c'est-à-dire tel qu'il pourrait être produit par un courant dextrogyre, vu de v vers O. Soient enfin X, Y, Z les composantes suivant les axes x, y, z. On aura :

$$X = (U_d + U_s) \cos \varepsilon + V \sin \varepsilon \,, \quad Y = Y_d + Y_s \,, \quad Z = -(U_d + U_s) \sin \varepsilon + V \cos \varepsilon \,.$$

Posant $X_d = U_d \cos \varepsilon$, $X_s = U_s \cos \varepsilon$, $X_r = V \sin \varepsilon$, et laissant de côté la composante longitudinale Z on a enfin

$$X_r = \sin \varepsilon \left(a \sin \varepsilon \sin (\theta - \alpha) + c \cos \varepsilon \sin (\theta - \gamma) \right)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} X_d = \left(\frac{a}{2} \cos \varepsilon \sin (\theta + \omega - \alpha) - \frac{b}{2} \cos (\theta + \omega - \beta) - \frac{c}{2} \sin \varepsilon \sin (\theta + \omega - \gamma) \right) \cos \varepsilon \\ Y_d = \frac{a}{3} \cos \varepsilon \cos (\theta + \omega - \alpha) + \frac{b}{2} \sin \theta + \omega - \beta) - \frac{c}{2} \sin \varepsilon \cos (\theta + \omega - \gamma) \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} X_s = \left(\frac{a}{2} \cos \varepsilon \sin (\theta - \omega - \alpha) + \frac{b}{2} \cos (\theta - \omega - \beta) - \frac{c}{2} \sin \varepsilon \sin (\theta - \omega - \gamma) \right) \cos \gamma \\ Y_s = - \frac{a}{2} \cos \varepsilon \cos (\theta - \omega - \alpha) + \frac{b}{2} \sin (\theta - \omega - \beta) + \frac{c}{2} \sin \varepsilon \cos (\theta - \omega - \gamma) \,. \end{array} \right. \qquad (3)$$

Quant aux intensités I_r, I_d, I_s des trois vibrations X_r, $(X_d Y_d)$, $(X_s Y_s)$, si l'on pose $M(a^2) + M(b^2) = I$ et si l'on tient compte des relations (2), on trouve :

$$I_r = \frac{1}{2} I \sin^2 \varepsilon \,, \quad I_d = I_s = \frac{1}{4} I (1 + \cos^2 \varepsilon) \,. \qquad (4)$$

Des formules (3) et (4) on tire l'énoncé suivant :

Pendant que dans la direction considérée, qui fait l'angle ε avec les lignes de force, il se propage, lorsque le champ n'existe pas, de la lumière naturelle, lorsque le champ existe il se propage trois vibrations polarisées : une vibration rectiligne parallèle au plan méridien, d'intensité $\frac{1}{2}$ I $\sin^2 \varepsilon$ et de période $1 : N$, et deux vibrations elliptiques d'intensité $\frac{1}{4}$ I $(1 + \cos^2 \varepsilon)$, l'une dextrogyre et de période $1 : (N + n)$, l'autre lévogyre et de période $1 : (N - n)$. Ces vibrations elliptiques ont leur petit axe dans le plan méridien, et le rapport des axes est égal à $\cos \varepsilon$.

Si l'on tient compte des relations qui existent entre X_r et V, X_d et U_d, X_s et U_s, on peut dire aussi que : en supposant décomposée la vibration naturelle dans l'espace de la particule vibrante en trois composantes, l'une rectiligne dans la direction du champ, et les deux autres circulaires de sens contraires et dont le plan est perpendiculaire à cette direction, les trois vibrations qui se propagent dans une direction donnée sont les projections sur le plan de l'onde des trois composantes susdites.

Une raie d'émission est donc généralement décomposée en trois, qui forment un triplet. C'est seulement lorsque $\varepsilon = 0$ que la composante médiane du triplet disparaît. Les composantes extérieures sont alors polarisées circulairement.

3. Les formules établies peuvent être interprétées d'une autre manière. On peut, en effet, décomposer les composantes transversales x, y (1) en $x = x_r + x_d + x_s$, $y = y_d + y_s$, en posant

$$x_r = \sin \varepsilon \left(a \sin \varepsilon \sin (\theta - \alpha) + \cos \varepsilon \sin (\theta - \gamma) \right)$$

$$x_d = \left(\frac{a}{2} \cos \varepsilon \sin (\theta - \alpha) - \frac{b}{2} \cos (\theta - \beta) - \frac{c}{2} \sin \varepsilon \sin (\theta - \gamma) \right) \cos \varepsilon$$

$$y_d = \frac{a}{2}\cos\varepsilon\cos(\theta-\alpha) + \frac{b}{2}\sin(\theta-\beta) - \frac{c}{2}\sin\varepsilon\cos(\theta-\gamma) \qquad (5)$$

$$x_s = \left(\frac{a}{2}\cos\varepsilon\sin(\theta-\alpha) + \frac{b}{2}\cos(\theta-\beta) - \frac{c}{2}\sin\varepsilon\sin(\theta-\gamma)\right)\cos\varepsilon$$

$$y_s = \frac{a}{2}\cos\varepsilon\cos(\theta-\alpha) + \frac{b}{2}\sin(\theta-\beta) + \frac{c}{2}\sin\varepsilon\cos(\theta-\gamma) .$$

Il suffit à présent de changer θ en $\theta + \omega$ dans les valeurs de x_d et y_d, et θ en $\theta - \omega$ dans les valeurs de x_s et y_s, pour que les formules (5) deviennent les formules (3). On peut donc énoncer ce qui suit :

Les composantes transversales de la vibration naturelle de la particule peuvent être substituées par trois vibrations : l'une rectiligne, parallèle au plan méridien et d'intensité $\frac{1}{2}$ I $\sin^2\varepsilon$, les deux autres elliptiques de sens contraires et d'intensité $\frac{1}{4}$ I $(1 + \cos^2\varepsilon)$, ayant leur petit axe dans le plan méridien et $\cos\varepsilon$ pour rapport des axes. Cela fait il suffit de changer N en $N + n$ dans la vibration elliptique qui a même sens que le courant magnétisant, et N en $N - n$ dans l'autre, pour obtenir les vibrations cherchées.

Pour satisfaire aux conditions d'intensité il faut mettre en ligne de compte la composante longitudinale de la vibration naturelle.

Ce dernier énoncé rend facile l'application du principe de Kirchhoff, pour arriver à l'explication du phénomène de Zeeman par absorption.

4. On peut généraliser à présent une propriété que j'ai démontrée jadis pour le cas particulier du phénomène de Zeeman suivant les lignes de force [1].

Les composantes $X = X_r + X_d + X_s$, $Y = Y_d + Y_s$, Z, peuvent s'écrire comme suit :

$$X = x(\sin^2\varepsilon + \cos^2\varepsilon\cos\omega) + y\cos\varepsilon\sin\omega + z\sin\varepsilon\cos\varepsilon(1-\cos\omega)$$
$$Y = -x\cos\varepsilon\sin\omega + y\cos\omega + z\sin\varepsilon\sin\omega$$
$$Z = x\sin\varepsilon\cos\varepsilon(1-\cos\omega) - y\sin\varepsilon\sin\omega + z(\cos^2\varepsilon + \sin^2\varepsilon\cos\omega)$$

On en déduit aisément que : l'effet produit par le champ magnétique est identique à celui que l'on obtient en composant avec la vibration propre de la particule vibrante un mouvement de rotation autour de la direction du champ, dans le sens des courants d'Ampère, et avec la vitesse de n tours par seconde.

On voit bien à présent la nécessité de tenir compte de la composante longitudinale z de la vibration primitive. Par exemple, dans le cas particulier de $\varepsilon = 90°$, ou de l'émission perpendiculaire aux lignes de force, les deux composantes y et z, qui tournent autour de la direction de x, doivent contribuer au même titre à la production du phénomène. On comprend aussi que la théorie de Lorentz n'est pas la seule qui puisse expliquer le phénomène de Zeeman. En effet, toute théorie qui conduit à admettre l'existence, dans le champ magnétique, d'une rotation autour des lignes de force, du milieu où résident les mouvements lumineux, donne une explication immédiate du phénomène

5. Il est facile maintenant de comprendre de quelle manière le phénomène de Zeeman se modifie graduellement en passant du cas particulier où $\varepsilon = 90°$, à l'autre cas particulier de $\varepsilon = 0$.

Pour $\varepsilon = 90°$ chaque raie d'émission donne un triplet. La composante médiane est due à des vibrations parallèles aux lignes de force, et son intensité est double de celle des composantes extérieures du triplet. Celles-ci sont dues à des vibrations perpendiculaires au champ.

[1] *Rend. de l'Académie dei Lincei* (11 juin 1898).

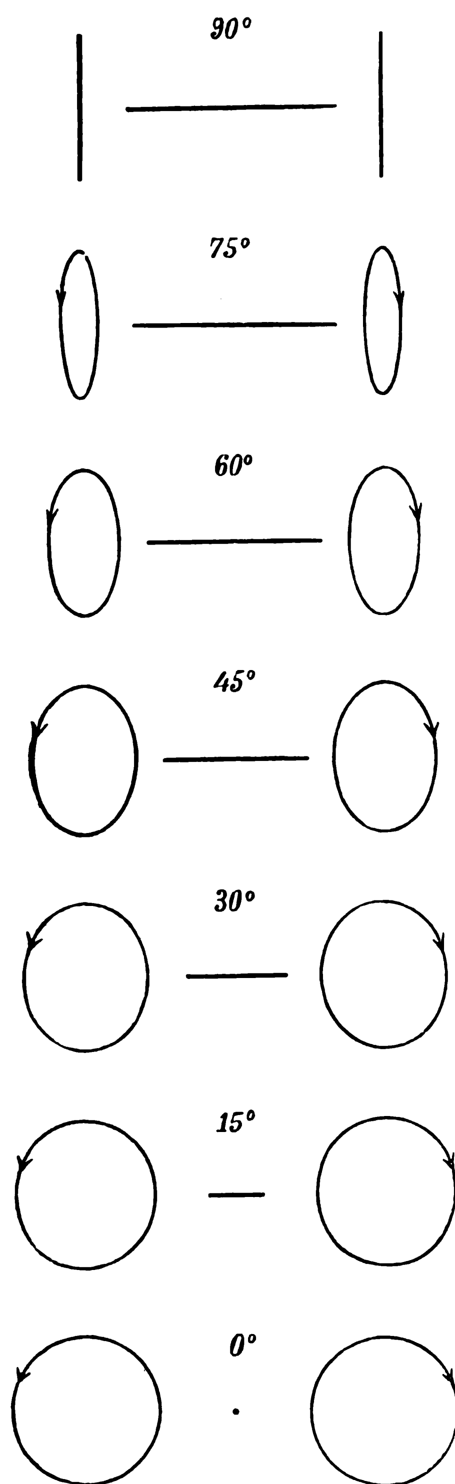


Fig. 2.

Lorsque ε diminue, la raie médiane du triplet diminue en intensité, mais conserve son état de polarisation. En même temps l'intensité des raies latérales du triplet augmente et les vibrations de ces raies deviennent elliptiques de sens contraires, avec le grand axe perpendiculaire au plan méridien.

Lorsque tang $\varepsilon = \sqrt{2}$ ($\varepsilon = 54° 44'$ environ) les trois raies du triplet ont des intensités égales.

Pour ε encore plus petit la raie médiane du triplet s'affaiblit encore, pendant que l'intensité des deux

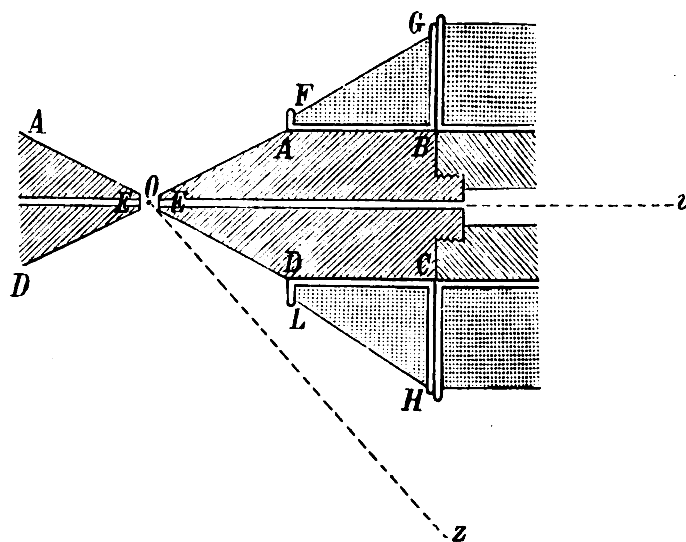


Fig. 3.

autres raies augmente. Enfin pour ε = o la raie médiane disparait, et les deux autres ont leur intensité maximum et deviennent polarisées circulairement.

La figure 2 fait voir ces modifications successives des vibrations correspondant aux trois raies du triplet.

III. Expériences de vérification. — 6. Il fallait avant tout modifier l'électro-aimant modèle Ruhmkorff. On lui a appliqué des pièces polaires en fer ABCDE (fig. 3), dont la partie ABCD est cylindrique et longue de 6 cm, et la partie ADE est un tronc de cône d'environ 60°, qui se termine par une face de 1 cm environ de diamètre.

La distance EE étant de 1,15 cm, il est possible d'étudier la lumière émise dans une direction Oz faisant un angle zOv = ε avec l'axe de l'électro-aimant compris entre 42° et 90°. Un petit trou de 0,3 cm de diamètre est pratiqué suivant

l'axe des pièces polaires, ce qui permet de mesurer l'intensité du champ magnétique par la rotation du sulfure de carbone, et aussi éventuellement de faire des expériences suivant les lignes de force.

L'électro-aimant est posé sur une plate-forme circulaire graduée sur son pourtour et qui peut tourner autour de son axe vertical, passant par le point O. Cela permet de varier et de mesurer l'angle ε.

Les parties cylindriques des pièces polaires sont entourées par deux bobines coniques FGLH placées en série avec les bobines principales. Avec un courant donné par des accumulateurs le champ en O était, pendant les expériences, de 12 000 unités environ.

La source placée en O a été toujours l'étincelle électrique. Elle est obtenue entre deux fils métalliques verticaux au moyen d'une grande bobine d'induction capable de donner des étincelles de 40 cm munie de bouteilles de Leyde et activée par un fort courant et un interrupteur Wehnelt. J'ai donné la préférence aux raies 4 678 du cadmium, 4680 du zinc et 5167 du magnésium, qui donnent (même la dernière à ce que j'ai vu) le triplet normal. Mais j'ai étudié aussi les raies 4 722 du zinc et 4 800 du cadmium, qui donnent des quadruplets.

7. Quant à la partie optique des appareils, j'ai employé un grand réseau concave de Rowland de 16 cm de diamètre, 644 cm de rayon, portant 568 lignes par millimètre. Dans le spectre réel de second ordre les raies D_1 et D_2 sont éloignées l'une de l'autre d'environ 4,5 mm. Une lentille projette sur la fente l'image réelle des étincelles; mais j'ai ajouté une deuxième lentille, qui a pour effet de donner une grande intensité aux raies.

Cette lentille est cylindrique, avec 18 cm environ de distance focale, et ses génératrices sont horizontales. Elle est placée au devant de l'oculaire, et, sans changer la largeur et la distance des raies, elle en réduit la longueur et en augmente l'intensité.

Souvent on a ajouté un nicol devant l'oculaire, seul ou précédé d'une lame quart-d'onde.

8. Les premières expériences ont eu pour but l'étude de l'allure générale des phénomènes.

Après avoir observé le triplet que l'on obtient pour $\varepsilon = 90°$, et dont la composante du milieu est plus intense que les deux latérales, j'ai fait tourner l'aimant de manière à donner à ε des valeurs de plus en plus petites. Les trois composantes du triplet ont conservé leur place, mais celle du milieu a diminué en intensité, pendant que l'intensité des deux autres a augmenté graduellement.

Pour une certaine valeur de ε les trois composantes du triplet ont même intensité. Cette valeur est un peu plus grande que $54° 44'$, qui est la valeur théorique; mais cela s'explique naturellement par les pertes d'intensité dues à la réflexion. Avec ε encore plus petit la composante moyenne devient plus faible que les deux autres.

A l'aide d'un nicol on constate aisément que la composante moyenne du triplet est totalement polarisée, et que ses vibrations sont rectilignes et dans le plan méridien.

Les composantes extérieures sont au contraire polarisées elliptiquement. Le nicol ne peut les éteindre, mais il en réduit l'intensité au minimum lorsque le plan qui contient les petites diagonales de ses faces est parallèle au plan méridien (qui est horizontal). Donc les grands axes des vibrations elliptiques des composantes extérieures sont bien perpendiculaires au plan méridien.

Enfin, si l'on place le nicol de manière qu'il laisse passer les vibrations verticales, l'intensité des composantes extérieures du triplet a une valeur constante quelque soit l'angle ε. Donc le grand axe des ellipses est bien indépendant de ε. Ces expériences qualitatives semblent donc confirmer de tout point les prévisions théoriques.

***

9. D'autres expériences ont trait à l'intensité des raies.

Le nicol, lorsque sa section principale est verticale, éteint complètement la composante médiane du triplet. Si on le fait tourner, on voit croître l'intensité de cette composante, pendant que l'intensité des composantes extérieures diminue. Si l'angle ε n'est pas trop petit, il est possible de donner au nicol une orientation telle que les trois composantes du triplet aient des intensités égales. Soit σ l'angle dont on a dû tourner le nicol. La vibration de la raie du milieu du triplet devient alors $X_r \sin \sigma$ et en correspondance des raies latérales, on a les vibrations : $X_d \sin \sigma + Y_d \cos \sigma$, $X_s \sin \sigma + Y_s \cos \sigma$. Les intensités seront :

Pour la raie du milieu . . . . $\frac{1}{2} I \sin^2\varepsilon \sin^2\sigma$

Pour les deux latérales . . . . $\frac{1}{4} I (\cos^2\varepsilon \sin^2\sigma + \cos^2\sigma)$.

Ces intensités sont égales lorsque $\sin^2 \sigma = 1 : 3 \sin^2 \varepsilon$.

Par exemple lorsque ε a les valeurs :

35°16', 45°, 54°44', 60°, 75°, 90°

on trouve pour σ les valeurs :

90, 54°44', 45°, 41°49', 36°42, 35°16'.

Ayant donné à ε les valeurs indiquées (exception faite de la valeur 35° 16' que l'appareil ne pouvait pas donner) on a trouvé par expérience des valeurs de σ, qui présentent l'allure des valeurs écrites ci-dessous, mais un peu plus élevées. Mais ayant répété les expériences après avoir transporté le nicol tout près de la fente, l'occord a été presque parfait. Le petit désaccord était donc dû à la réflexion sur le réseau.

10. Enfin d'autres expériences ont été faites, dans le but de vérifier la valeur du rapport entre les axes des vibrations elliptiques.

Une lame quart-d'onde (relativement à la raie étudiée) est placée devant le nicol, de manière que l'une de ses lignes d'extinction soit verticale. Elle transforme les vibrations elliptiques des composantes extérieures du triplet en vibrations rectilignes inclinées des deux côtés de la verticale, d'un angle dont la tangente est égale au rapport des axes. Suivant la théorie, ce rapport doit être égal à $\cos \varepsilon$.

En tournant le nicol jusqu'à éteindre une des composantes latérales, l'angle σ dont on devra le tourner, à partir de l'orientation qui éteint la composante médiane, sera donné par $\operatorname{tang} \sigma = 1 : \cos \varepsilon$.

Or si dans cette formule on donne à ε les valeurs :

50°, 54°44', 60°, 70°, 90°,

on trouve pour σ

52°16', 60°, 63°26', 71°7', 90°.

Ayant donné à ε les valeurs ci-dessus, on a trouvé pour σ les valeurs prévues, lorsque la lame quart-d'-onde et le nicol ont été placés entre la fente et le réseau.

Toutes ces vérifications ne peuvent comporter beaucoup de précision ; mais il y en a une qui est plus exacte que les autres.

Lorsque $\varepsilon = 54° 44'$, la rotation $\sigma = 60°$, qui éteint une des composantes extérieures du triplet donne en même temps des intensités égales aux deux raies restantes, comme on peut le démontrer aisément par les formules données. Or il est plus sûr de juger l'égalité d'intensité des deux raies, que de juger que la troisième est bien éteinte, vu le

peu d'intensité lumineuse du phénomène. L'expérience faite de cette manière réussit encore en accord avec la théorie.

La figure 4 montre le résultat de ces expériences. On voit en *a* la raie, telle qu'elle apparaît lorsque le champ magnétique n'existe pas ; en *b* le triplet qui apparaît en excitant l'électro-aimant ; en *c* et en *d* ce qui reste en éteignant avec la lame quart-d'onde et le nicol une des composantes latérales.

11. Les expériences précédentes se rapportent toutes à des triplets ; mais j'ai étudié aussi les raies 4800 du cadmium et 4722 du zinc qui donnent un quadruplet *f* (fig. 4).

Il résulte de ces expériences que, à l'état de polarisation les deux composantes médianes du quadruplet se comportent comme la composante médiane unique du triplet normal, et les composantes extérieures du quadruplet comme celles du triplet.

Ainsi dans les circonstances où on éteint une des composantes latérales du triplet, on voit, au lieu de *f* (fig. 4) *g* ou bien *h*.

Il paraît donc que les conclusions de la théorie sont valables, en ce qui se rapporte à l'état de polarisation des composantes, même pour les raies qui, au lieu de donner un triplet, montrent une décomposition plus complexe par l'action du champ. J'en ai profité pour l'étude expérimentale du phénomène de Zeeman par absorption.

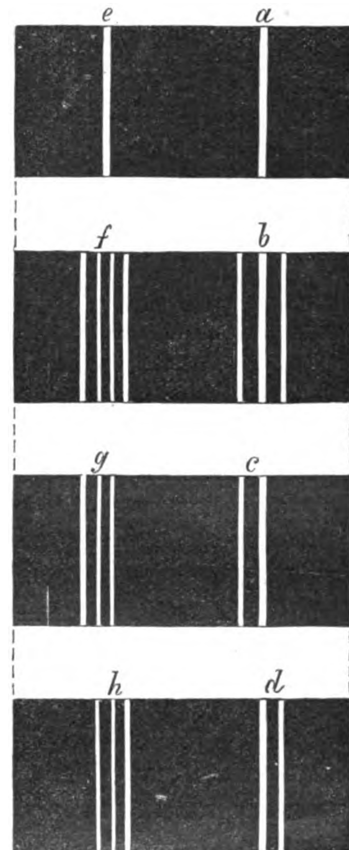


Fig. 4.

IV. — Le phénomène de Zeeman par absorption. — 12. A l'aide de formules du paragraphe 3, le principe de Kirchhoff permet de prévoir le phénomène inverse.

Soit un gaz capable d'absorber les radiations dont la période est 1 : N. Lorsqu'il est placé dans le champ magnétique, il absorbera sur le faisceau de lumière blanche qui le traverse dans la direction Oz (fig. 1) :

1° Les vibrations rectilignes parallèles au plan méridien, de 1 : N ;

2° Les vibrations elliptiques droites de période 1 : $(N + n)$ ayant leur grand axe perpendiculaire au plan méridien, et le rapport des axes égal à cos ε ;

3° Les vibrations elliptiques gauches de période 1 : $(N - n)$ ayant leur grand axe perpendiculaire ou plan méridien et cos ε pour rapport des axes.

Si $x = a \sin(\theta - \alpha)$, $y = b \sin(\theta - \beta)$, où $\theta = 2\pi Nt$, sont les composantes de la vibration de période 1 : N qui traverse le gaz, on peut leur substituer, à l'aide des formules (5) :

$$x_r = a \sin^2 \varepsilon \sin(\theta - \alpha)$$

$$\left\{\begin{aligned} x_d &= \cos\varepsilon\left(\frac{a}{2}\cos\varepsilon\sin(\theta-\alpha) - \frac{b}{2}\cos(\theta-\beta)\right) \\ y_d &= \frac{a}{2}\cos\varepsilon\cos(\theta-\alpha) + \frac{b}{2}\sin(\theta-\beta) \end{aligned}\right.$$

$$\left\{\begin{aligned} x_s &= \cos\varepsilon\left(\frac{a}{2}\cos\varepsilon\sin(\theta-\alpha) + \frac{b}{2}\cos(\theta-\beta)\right) \\ y_s &= -\frac{a}{2}\cos\varepsilon\cos(\theta-\alpha) + \frac{b}{2}\sin(\theta-\beta) \end{aligned}\right. \qquad (6)$$

La composante x_r sera absorbée et il restera pour les vibrations de période $1 : N$, $X_N = x_d + x_s$, $Y_N = y_d + y_s$. Appelant I_N l'intensité de cette vibration résiduelle, on a :

$$X_N = a \cos^2\varepsilon \sin(\theta - \alpha), \quad Y_N = b \sin(\theta - \beta), \quad I_N = I - a^2 (1 - \cos^4\varepsilon). \tag{7}$$

Les vibrations de période $1 : (N + n)$ et $1 : (N - n)$ pourront se décomposer par des formules semblables aux formules (6) et l'on trouvera pour les vibrations résiduelles :

$$\left.\begin{aligned} X_{N+n} &= \frac{a}{2}(1 + \sin^2\varepsilon) \sin(\theta + \omega - \alpha) + \frac{b}{2} \cos\varepsilon \cos(\theta + \omega - \beta), \\ Y_{N+n} &= -\frac{a}{2} \cos\varepsilon \cos(\theta + \omega - \alpha) + \frac{b}{2} \sin(\theta + \omega - \beta). \\ I_{N+n} &= I - \frac{3 - \cos^2\varepsilon}{4}\left(a^2 \cos^2\varepsilon + b^2 - 2\,ab \cos\varepsilon \sin(\beta - \alpha)\right). \end{aligned}\right\} \tag{8}$$

$$\left.\begin{aligned} X_{N-n} &= \frac{a}{2}(1 + \sin^2\varepsilon) \sin(\theta - \omega - \alpha) - \frac{b}{2} \cos\varepsilon \cos(\theta - \omega - \beta) \\ Y_{N-n} &= \frac{a}{2} \cos\varepsilon \cos(\theta - \omega - \alpha) + \frac{b}{2} \sin(\theta - \omega - \beta) \\ I_{N-n} &= I - \frac{3 - \cos^2\varepsilon}{4}\left(a^2 \cos^2\varepsilon + b^2 + 2\,ab \cos\varepsilon \sin(\beta - \alpha)\right). \end{aligned}\right\} \tag{9}$$

Les formules (7), (8), (9) permettraient de calculer les caractères du triplet d'absorption dans les divers cas particuliers, lumière naturelle, lumière elliptique, etc.

Par exemple, si la lumière incidente est naturelle il faut tenir compte des formules (2) et l'on trouve :

$$I_N = \frac{1}{2} I (1 + \cos^4\varepsilon), \quad I_{N+n} = I_{N-n} = \frac{1}{2}\, I + \frac{1}{8} I \sin^4\varepsilon.$$

Mais je considère ici seulement quelques cas particuliers qui se prêtent à des vérifications.

13. On sait que, dans les deux cas étudiés jusqu'à présent ($\varepsilon = 0°$ et $\varepsilon = 90°$), on peut supprimer une des raies magnétiques d'absorption en polarisant la lumière incidente d'une manière convenable.

Voyons quelle doit être cette polarisation pour faire disparaître soit la composante médiane du triplet, soit une des composantes latérales, lorsque ε est quelconque.

Pour faire disparaître la raie du milieu, il faut que l'on ait $I_N = I$, c'est-à-dire $a = 0$. La lumière qui doit traverser le gaz absorbant doit donc être polarisée à vibrations rectilignes dans le plan méridien.

Pour trouver la condition nécessaire pour que la composante du triplet d'absorption dont la période est $1 : (N + n)$ s'efface complètement, il faut poser $I_{N+n} = I$. La troisième des formules (9) donne alors :

$$a^2 \cos^2\varepsilon + b^2 = 2\, ab \cos\varepsilon \sin(\beta - \alpha).$$

Pour satisfaire à cette condition, il faut que l'on ait $b = a \cos\varepsilon$ et $\sin(\beta - \alpha) = 1$, ou bien $b = -a \cos\varepsilon$ et $\sin(\beta - \alpha) = -1$. Dans l'un et dans l'autre cas les vibrations incidentes seront de la forme :

$$x = a \sin(\theta - \alpha), \; y = -a \cos\varepsilon \cos(\theta - \alpha).$$

Donc, pour que la composante du triplet dont la période est $1 : (N + n)$ disparaisse, il faut que la lumière incidente soit à vibrations elliptiques lévogyres, avec le grand axe de l'ellipse dans le plan méridien et avec $\cos\varepsilon$ comme rapport des axes.

L'ellipse devrait être dextrogyre, pour faire disparaître la composante du triplet dont la période est $1 : (N - n)$.

Ces résultats se transforment pour $\varepsilon = 0$ et pour $\varepsilon = 90°$ en d'autres bien connus.

14. J'ai cherché à vérifier ces prévisions théoriques en employant les appareils décrits plus haut, sauf quelques modifications nécessaires.

La lumière blanche est fournie par une lampe à arc placée dans une lanterne de projection. Une lentille convergente la concentre dans l'espace qui reste entre les pôles de l'électro-aimant, puis elle tombe sur une petite fenêtre rectangulaire pratiquée dans un carton placé près des pôles La lumière rencontre ensuite une lentille de 12,5 cm de distance focale, qui la concentre sur une des petites lentilles cylindriques du banc de diffraction, qui est substituée à présent à la fente. Le spectre que l'on obtient est très pur et très intense, particulièrement si l'on emploie encore la lentille cylindrique placée devant l'oculaire (voir paragraphe 7).

Entre les pôles se trouve une flamme absorbante. Elle est fournie par un bec à courant d'air semblable à ceux que l'on emploie pour souffler le verre. Une petite cuiller de platine est placée dans la flamme, et contient un chlorure ou un bromure alcalin, et il suffit de le placer plus ou moins haut, et surtout de régler avec soin le courant de gaz illuminant et le courant d'air, pour obtenir à volonté et d'une manière absolument constante, soit des raies d'absorption très minces, soit des raies plus ou moins larges, même de larges bandes.

Pour les expériences destinées à vérifier les conclusions du paragraphe précédent, il fallait employer des raies très minces.

Il aurait été désirable de tenter les expériences sur un gaz absorbant donnant le triplet normal; mais les vapeurs qui se prêtent aux expériences d'absorption ne satisfont pas à cette condition.

Mais il était à prévoir que même avec des raies donnant un quadruplet ou un sextuplet on aurait vérifié, quant à la polarisation, les prévisions théoriques (voir paragraphe 11). Les expériences ont été faites sur la raie verte du thallium ($\lambda = 5351$) et sur la raie D_1, qui donnent un quadruplet, puis sur la raie D_2, qui donne un sextuplet. La raie du thalium se comporte en tout comme la raie D_1.

Les charbons de la lampe électrique donnent toujours pour leur compte les raies d'absorption D_1 et D_2. Heureusement les charbons que j'emploie donnent ces raies d'une largeur moindre que la quarantième partie de la distance entre D_1 et D_2; mais naturellement il faut que la flamme à sodium donne des raies un peu plus larges que celles données par la lampe à arc, pour que les expériences soient possibles.

Dans la figure 5, dont il sera question plus bas, je n'ai pas dessiné ces lignes (qui naturellement ne subissent aucune modification de la part du champ magnétique) pour éviter une complication inutile.

15. Quel que soit ε, pourvu que $\varepsilon > 0$, la raie D_1 donne un quadruplet et D_2 un sextuplet. Lorsque ε diminue à partir de 90° les deux raies moyennes deviennent moins noires, et les raies extérieures deviennent plus marquées. Les composantes magnétiques semblent donc se comporter comme la théorie l'indique pour les composantes d'un triplet normal.

Si la lumière incidente est polarisée et à vibrations verticales, les deux raies médianes soit du quadruplet D_1, soit du sextuplet D_2 disparaissent. Ici encore les deux médianes se comportent comme la composante du milieu d'un triplet normal.

Enfin, ayant polarisé la lumière avec un nicol et une lame quart-d'onde, de telle sorte que ses vibrations étaient elliptiques, avec le grand axe de l'ellipse dans le plan méridien et cos ε pour rapport des axes, j'ai vu disparaître les composantes latérales d'un côté ou de l'autre. Une raie d'absorption *a* (fig. 5) qui donnerait le triplet normal *b*, deviendrait *c* ou *d*, avec la lumière ainsi polarisée, suivant que cette lumière serait dextrogyre ou lévogyre. Les raies D_1 et D_2 ont montré des phénomènes correspondants. D_1 donne le quadruplet *f*, c'est-à-dire un triplet dont la composante médiane est dédoublée, et avec la lumière polarisée de la manière décrite, elle devient *g* ou *h*. La raie D_2 donne généralement le système *l*, qui est un triplet dont les trois composantes sont dédoublées. En employant la lumière polarisée dont il s'agit, la raie devient *m* ou *n*, suivant le sens de gyration de l'ellipse.

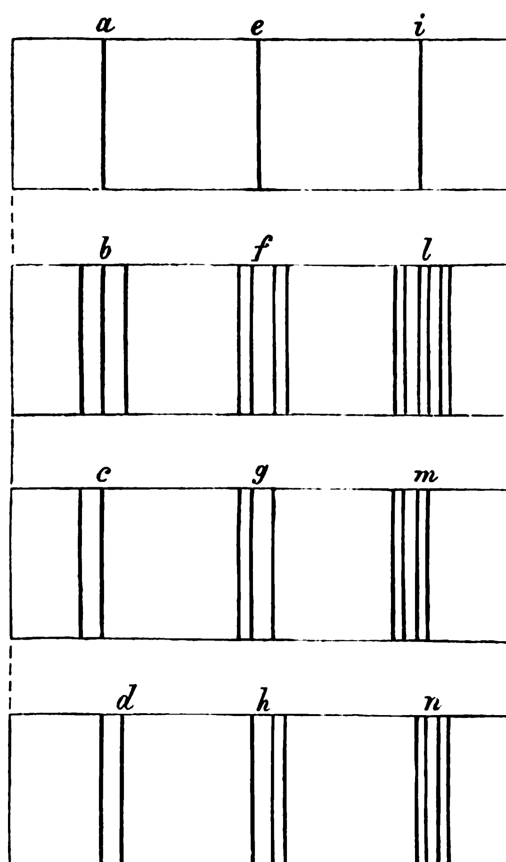


Fig. 5.

Donc l'expérience est en accord avec la théorie, en ce qui concerne l'état de polarisation des raies d'absorption, bien que l'expérience ait été faite sur des raies auxquelles la théorie simple n'est pas directement applicable.

16. Le phénomène de Zeeman par absorption devient très compliqué, comme on sait déjà pour les cas particuliers de ε = 0 et ε = 90°, lorsqu'on règle la flamme de manière à donner des larges raies d'absorption, et lorsqu'on emploie de la lumière polarisée et un analysateur (ordinaire ou elliptique). Les composantes magnétiques de la raie modifiée sont alors superposées en grande partie de manière à constituer une bande unique sur laquelle des maximum et des minimum d'intensité se montrent. Ces franges se déplacent généralement en modifiant graduellement le polarisateur ou l'analysateur, soit en s'approchant, soit en s'éloignant du milieu de la bande.

Je ne m'occuperai pas pour le moment de ces phénomènes très complexes, pour l'explication desquels il faut tenir compte des vitesses de propagation différentes qui appartiennent à des rayons diversement polarisés.

A. Righi,
Professeur à l'Université de Bologne.

SYSTÈMES DE TÉLÉGRAPHIE RAPIDE [1]

MODES DE FORMATION DES SIGNAUX DANS LA TÉLÉGRAPHIE ÉLECTRIQUE

Signaux Davy

Utilisation des deux sens du courant pour former des signaux complexes à l'aide de traces simples. Réduction à 3 du nombre des fils nécesaires à un alphabet de 26 signes. Nous avons vu que Morse, avec 3 fils, ne formait que quelques signaux composés de traces simples et qu'il complétait son alphabet avec des signes doubles, ce qui était une cause de perte de temps.

Davy fit breveter en 1838 un système d'appareil pour la représentation de 26 signaux formés de traces simples à l'aide de 3 fils en utilisant les deux sens du courant.

Les signaux se produisaient sur une bande de tissu (calicot, par exemple), imprégnée d'hydriodate de potasse et de muriate de chaux sur laquelle s'appuyaient en permanence 6 pointes métalliques 1, 2, 3, 4, 5, 6 (fig. 3).

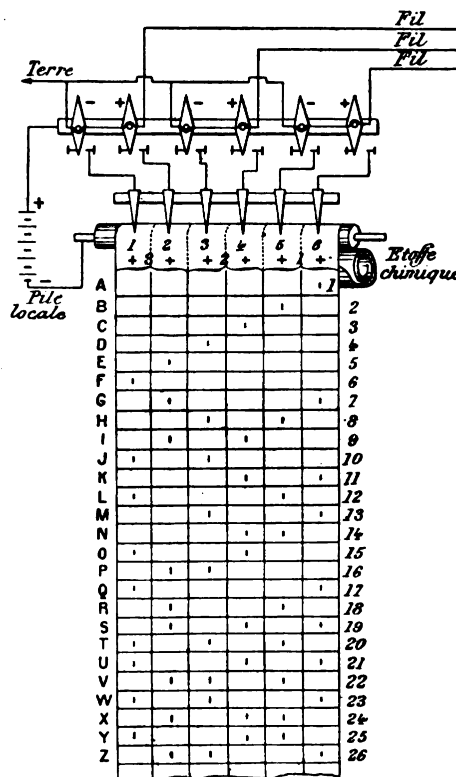


Fig. 3. — Récepteur Davy.

La bande était divisée en 6 parties dans le sens de sa **largeur** et en un nombre indéfini, mais de même espacement que les premières dans le sens de la longueur, ce qui la partageait en carrés égaux.

Les pointes métalliques se présentaient au centre des carrés où devaient se produire les traces laissées par le passage des courants, à cet effet la bande progressait non d'une manière continue, mais par quantités égales aux espacements transversaux.

Les courants envoyés sur chaque fil n'avaient pour but que de faire fonctionner une des deux aiguilles aimantées terminant chacun d'eux, une des aiguilles fonctionnait sous l'influence d'un courant positif et l'autre sous l'influence d'un courant négatif. La pointe de chacune d'elles s'engageait entre deux butoirs qui en limitaient le jeu. Un des butoirs était isolé, c'est contre lui que la pointe de l'aiguille s'appuyait à l'état normal, l'autre butoir était relié à une des pointes à tracer et le corps de l'aiguille à une pile locale d'une énergie suffisante pour décomposer la dissolution dont était imprégnée la bande, c'est contre ce dernier butoir que venait buter l'aiguille lorsqu'elle se déplaçait sous l'influence d'un courant de ligne. D'où il s'ensuivait que les aiguilles étaient des relais entre les pointes à tracer et la pile locale.

La transmission se faisait à l'aide de 7 clés dont 3 étaient reliées aux pôles positifs de

[1] Voir *L'Éclairage Électrique* du 19 mai et du 2 juin, p. 241 et 328.

3 piles, et 3 aux pôles négatifs de ces mêmes piles, la septième au fil commun ou de retour, en outre *chaque fil de transmission pouvait servir de fil de retour.*

Mais en substituant la terre au fil de retour, 3 fils et 6 clés étaient suffisants.

On ignore quels furent les résultats obtenus avec un semblable système, mais il est à supposer que Davy put considérer son appareil comme réalisant un progrès sur celui de Wheatstone, puisque celui-ci ne produisait que 30 signaux fugitifs avec 6 fils et que lui, avec 4 fils dont 1 de retour, ou 3 fils en utilisant la terre, obtenait 26 signaux écrits ; mais ces 26 signaux formaient un alphabet incomplet, ce qui contribua sans doute avec quelques autres défauts à l'abandon du système.

TABLE DE DAVY (1838) ET HIGHTON (1848)

26 combinaisons, 3 fils, les 2 sens du courant

	3	2	1	Fil de retour
1			+	−
2			−	+
3		+		−
4		−		+
5	+			−
6	−			+
7	+		+	−
8		−	−	+
9	+	+		−
10	−	−		+
11		+	+	−
12	−		−	+
13		−	+	
14		+	−	
15	−	+		
16	+	−		
17	−		+	
18	+		−	
19	+	+	+	−
20	−	−	−	+
21	−	+	+	
22	+	−	−	
23	−	−	+	
24	+	+	−	
25	−	+	−	
26	+	−	+	

Ce que nous pouvons retenir de ce système, c'est que comme ceux de Schilling, Gauss et Weber, il utilisait les deux sens du courant mais en simplifiant d'une part les signaux pour la formation desquels il n'utilisait que 3 traces et en obtenant d'autre part ses traces *simultanément* au lieu des battements successifs de ses prédécesseurs.

Un bout de bande portant dans leur ordre les 26 lettres de l'alphabet télégraphique de Davy présentait l'aspect donné par notre figure 3 et la table de manipulation était celle que nous donnons ci-contre en représentant chacune des émissions de courant par le signe du pôle de pile qui a servi à cette émission comme nous l'avons fait pour Schilling, et Gauss et Weber, avec cette différence essentielle bien entendu que les signes élémentaires d'un signal *sont produits simultanément* et *non successivement.*

Dans le cas de non utilisation de la terre, le quatrième fil servait à compléter les circuits dans toutes les combinaisons où n'entraient pas les deux pôles de la pile.

En résumé le système Davy ne peut être considéré comme ayant réalisé un progrès quelconque en télégraphie.

Il avait évidemment pour but exclusif en utilisant les deux sens du courant de diminuer d'une part le nombre des fils utilisés par Wheatstone et d'autre part de laisser des traces écrites des signaux.

Quant aux 26 signes formés par l'emploi des deux sens du courant sur 3 fils, ils ne constituaient pas une invention et ne créaient même pas un mode nouveau de formation des signaux puisque ces signaux sont fatalement les mêmes avec un seul fil et une seule aiguille soumise alternativement à l'influence des deux sens du courant en faisant battre cette aiguille 3 fois au maximum, tant de droite que de gauche : le nombre des fils pouvant en principe et d'une manière générale remplacer le nombre des battements et vice versa.

L'exhumation de ce système lors du procès Mimault-Baudot nous semble donc une de ces chinoiseries qui se produisent presque fatalement dans les procès de cette nature, car chacune des parties croit donner tort à la partie adverse en recherchant des antériorités

qui, quoique n'ayant qu'une vague ressemblance avec l'invention contestée, n'en laissent pas moins croire que la dite invention était du domaine public et que chacun des inventeurs avait le droit de s'en servir à sa guise. C'est en réalité diminuer le mérite des inventeurs nouveaux au profit d'inventeurs anciens, lesquels n'ont, ce nous semble, que de bien faibles titres à cette gloire posthume qu'on leur accorde aussi gratuitement qu'inutilement.

Appareil Highton. — Les 26 signaux obtenus par Davy ne se différenciaient que par l'espacement entre les points formant un signal ou par la place occupée par le point si le

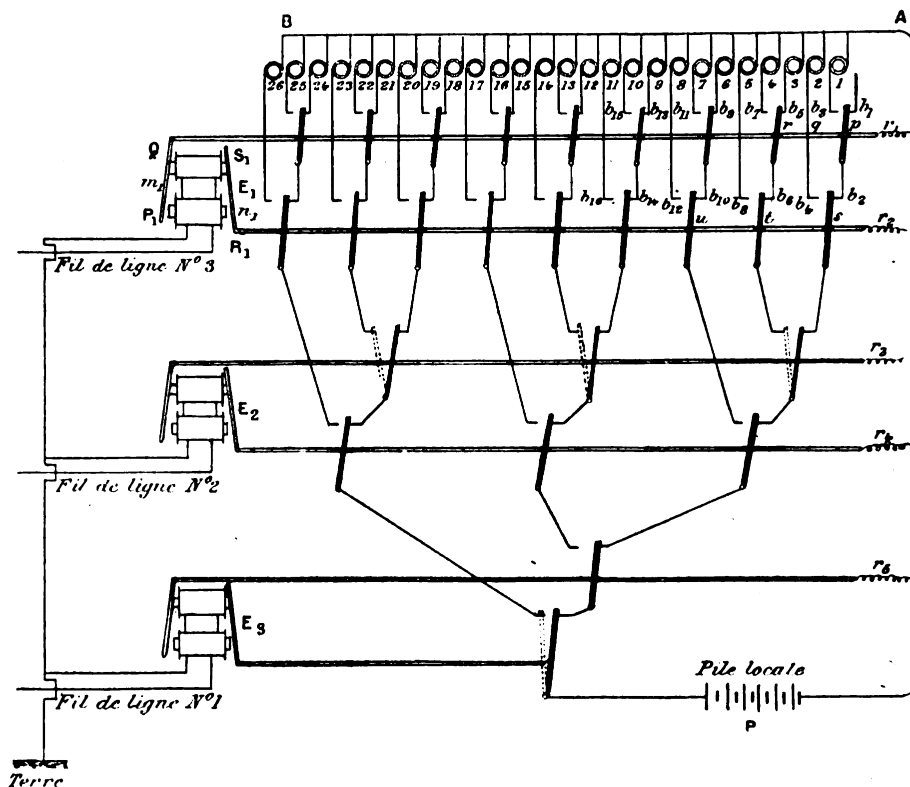


Fig. 4. — Diagramme du système Highton.

signal n'était formé que d'un point ; leur traduction se faisait en conséquence comme celle des signaux Morse, mais apparemment avec beaucoup moins de facilité. C'est cette traduction que les frères Highton se proposèrent de rendre automatique en 1848.

A cet effet ils imaginèrent de graver chacun des 26 signes sur une pièce commandée par l'armature d'un électro-aimant qui lui était spécial, ce qui fait que les électro-aimants étaient au nombre de 26.

Les armatures étaient actionnées par des courants locaux traversant les électro-aimants au moment où l'impression devait avoir lieu.

Le courant local était envoyé dans l'électro-aimant voulu au moyen d'un système de communications jugé inextricable par M. du Moncel qui essaya de le faire comprendre par le diagramme théorique (fig. 4) qu'il publia dans le *Journal des Télégraphes* de Berne relativement aux revendications Mimault contre Baudot et par analogie avec le *Rameau conducteur* de Mimault (fig. 5 et 6).

signaux se succédant longitudinalement, les signaux Morse leur étaient certes de beaucoup préférables.

Système Mimault et système Baudot

Après cette dernière tentative de Whitehouse les signaux produits par des combinaisons de signes simples tombèrent dans l'oubli jusqu'en 1874, époque à laquelle M. Mimault vint les en tirer par son brevet en date du 17 janvier 1874.

Par ce brevet, M. Mimault commence, en effet, à faire sortir les alphabets de signes du chaos où ils étaient avant lui.

Il les place sur le terrain scientifique qui leur

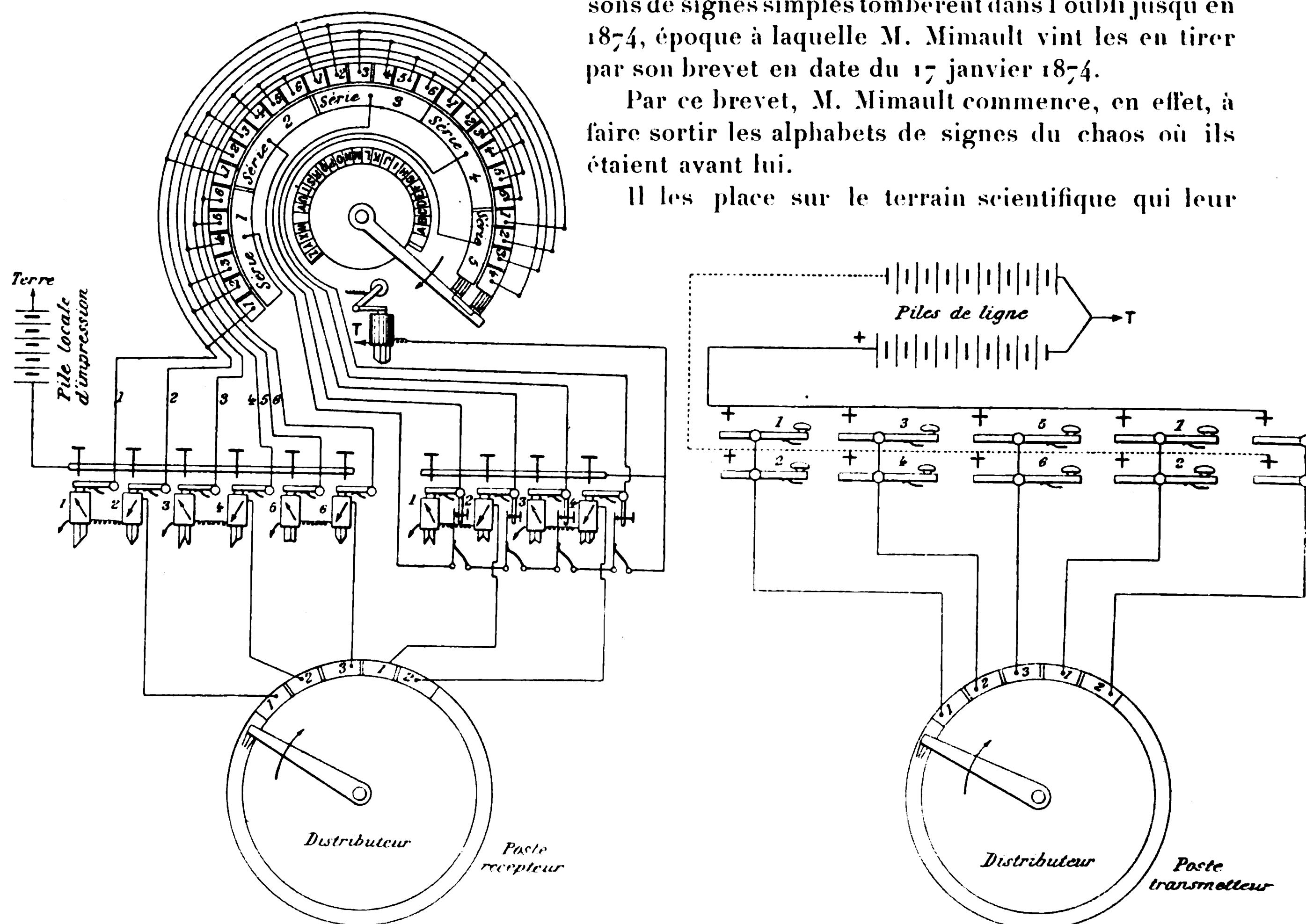


Fig. 10. — Combinateur Munier.

convient en parlant de *cinq signes élémentaires* correspondant aux cinq premiers nombres de *la progression géométrique*.

En s'exprimant ainsi (*on le lui reprochera plus tard*), il oublie ou il néglige de dire *la progression géométrique dont le premier terme est 1 et la raison 2;* mais il est évident que c'est de celle-ci qu'il veut parler, car il y a une infinité de progressions géométriques.

Cette remarque est sans importance d'ailleurs, et ce que nous devons retenir du brevet Mimault, c'est qu'il jette sur les combinaisons de signaux complexes formés de signes simples la clarté qui leur a manquée jusqu'alors.

Néanmoins, elles seraient encore restées quelques années dans l'oubli pour les raisons

que nous exposerons au chapitre suivant sans le brevet Baudot qui suivit à quelques mois d'intervalle celui de Mimault et duquel se dégage définitivement le côté pratique des combinaisons de CINQ signes simples élémentaires pour former des signaux complexes se traduisant par un effet simple, car ce n'est que douze années plus tard que M. Munier fut amené à se servir de signaux complexes formés de signes simples au cours de recherches relatives à la modification du distributeur dont il se servait pour le fonctionnement d'un mécanisme récepteur appelé *Compensateur*, qu'il fit breveter en septembre 1882, et avec lequel il utilisait l'appareil Hughes comme appareil multiple.

Mais, contrairement à ses prédécesseurs, les signaux complexes utilisés par M. Munier ne furent composés que de DEUX signes simples élémentaires au lieu de cinq, par suite d'un principe nouveau sur lequel s'appuya M. Munier, principe qui consiste dans la *division des lettres de l'alphabet en séries ou groupes :* un des signes élémentaires désignant la série, l'autre désignant la lettre dans la série (fig. 10).

TABLE WHITEHOUSE (1855)
31 combinaisons, 5 fils.
un seul sens du courant

	5	4	3	2	1
A					+
B				+	
C			+		
D		+			
E	+				
F				+	+
G			+	+	
H			+		+
I		+	+		
J		+		+	
K		+			+
L	+	+			
M	+		+		
N	+			+	
O	+				+
P			+	+	+
Q		+	+		+
R		+	+	+	
S		+		+	+
T	+	+			+
U	+	+		+	
V	+	+	+		
W	+		+		+
X	+		+	+	
Y	+			+	+
Z	+	+		+	+
	+	+	+		+
	+		+	+	+
	+	+	+	+	
		+	+	+	+
31	+	+	+	+	+

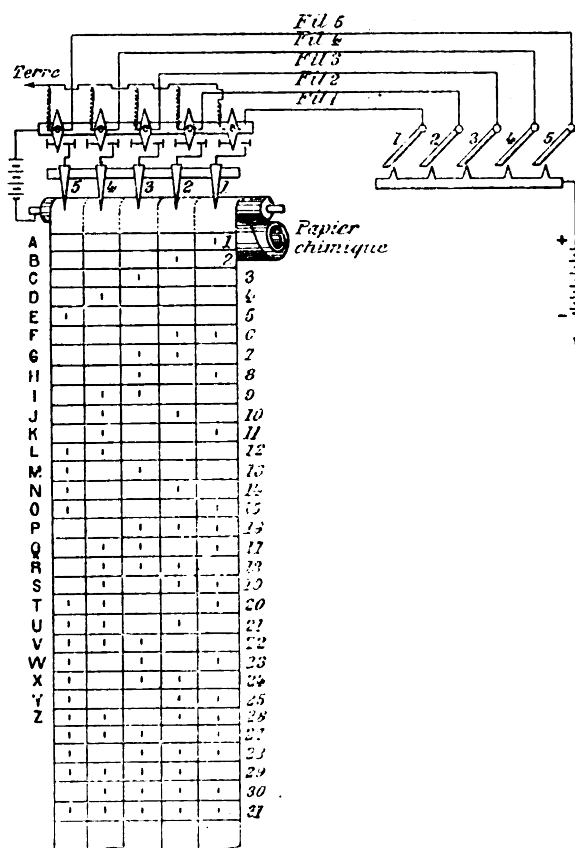


Fig. 11. — Appareil Whitehouse.

Nous sommes arrivé au moment de parler des principes communs qui servent de base aux alphabets de signes télégraphiques et aux systèmes de *numération*.

Nous exposerons ensuite la formation de différents codes télégraphiques en les classifiant dans un ordre basé, d'une part, sur le nombre de fils ou moments exigés par chacun d'eux et, d'autre part, sur le nombre de signes simples élémentaires qu'ils utilisent.

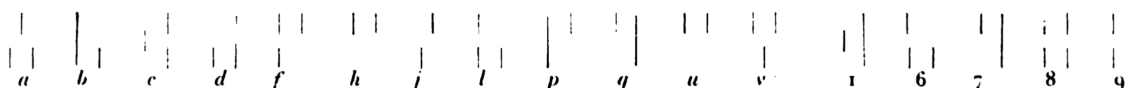
Mais, avant d'entrer dans ces démonstrations, nous croyons utile et équitable, après avoir fait ressortir la parenté au premier degré qui existe entre le combinateur Mimault et le combinateur Baudot en les plaçant côte à côte, d'établir, par un simple raisonnement, que les dispositifs, aussi bien mécaniques qu'électriques, imaginés par M. Baudot en vue de l'utilisation à la télégraphie de signaux complexes formés de cinq signes simples élémentaires n'ont rien de commun avec ceux qu'imagina M. Mimault, de même que le collec-

teur ou combinateur ternaire Munier n'a rien de commun avec le combinateur binaire de MM. Mimault ou Baudot.

Un combinateur théorique, qu'il soit binaire ou ternaire, reste évidemment à la disposition de qui voudra s'en servir dans d'autres conditions et avec d'autres organes mécaniques, principalement s'il s'agit d'atteindre un autre but et c'est sans doute cette croyance fort juste d'ailleurs, qui décida M. Baudot à soutenir ses droits sur les organes mécaniques et les dispositifs, en général, dont il était l'inventeur, avec autant d'opiniâtreté et de bonne foi que M. Mimault en mit à soutenir que M. Baudot n'avait pu faire son appareil que parce que lui, Mimault, en avait conçu le combinateur.

Profondément pénétré de la valeur du combinateur au point de vue de la rapidité des transmissions, M. Mimault désigne sous le titre de : *Les télégraphes de l'avenir*, le nouveau système de télégraphe auquel il va servir de base, titre qui ne laisse aucun doute sur l'avenir qu'il croit réservé à son appareil.

Mais les dispositions mécaniques qu'il imagine pour la réalisation de son idée, ont pour but d'obtenir des traces avec lesquelles il compose différents alphabets de signaux conventionnels, soit en plaçant les traces sur une seule ligne transversale, soit sur deux lignes en cherchant à donner à chaque assemblage de traces quelque ressemblance avec les caractères typographiques usuels comme le montre le spécimen ci-contre :



Cette légère et bien vague ressemblance de ces caractères typographiques usuels constituait évidemment un pas en arrière plutôt qu'un progrès, car elle n'eut pas permis de coller la bande de réception sur les feuilles à dépêche pour être remises au destinataire comme cela se pratique avec l'appareil Hughes, et il eût fallu traduire comme on le fait pour les signaux Morse.

Cependant, M. Mimault admettait la possibilité de remettre de semblables caractères dans les mains du public, à la seule condition que l'alphabet de ces caractères fût imprimé sur chaque feuille de papier afin d'aider à la lecture le cas échéant !.....

Cette croyance était certes une grave erreur.

Si on considère en outre : 1° que les alphabets de signes, au nombre de quatre, que M. Mimault mentionne dans son brevet de juillet 1874, se rapportent à l'utilisation de cinq ou six fils de ligne ; 2° qu'il paraît ne concevoir que d'une manière imparfaite le synchronisme entre les appareils en vue de l'utilisation d'un seul fil de ligne ; 3° qu'il ne fait rien pour utiliser ce synchronisme qu'il considère comme une grande difficulté ; qu'il cherche, au contraire, à s'en passer par des dispositifs spéciaux que nous ne pouvons décrire ici ; on comprend facilement que, malgré la clarté qu'il a apportée dans le *Rameau conducteur* ou combinateur, duquel doivent se dégager les 31 signaux simples correspondant aux 31 combinaisons de signes élémentaires, ces combinaisons n'auraient pas encore, croyons-nous, été tirées de l'oubli où les avaient laissées les frères Highton sans les dispositions imaginées par M. Baudot, car les moyens proposés par M. Mimault pour les traduire en signes simples étaient trop imparfaits et ne constitueraient pas un appareil admissible dans la pratique.

Cependant, lorsque l'on compare le développement du combinateur Mimault (fig. 8) avec le combinateur Baudot (fig. 9), on est frappé de la ressemblance qui existe entre ces deux organes, car ils sont en effet absolument semblables et on est, à ce moment, tout disposé à attribuer à Mimault la paternité de l'appareil Baudot.

Nous ajouterons que M. Mimault persista jusqu'à la mort à s'attribuer cette paternité (1).

Jusqu'à quel point M. Baudot s'est-il inspiré des travaux de M. Mimault pour réaliser son appareil ?

Les travaux de Mimault peuvent être considérés comme nuls en dehors des *formes schématiques du combinateur* et Baudot ne pouvait que considérer comme siennes les *dispositions mécaniques* et électriques véritablement géniales qui consistent à utiliser aux deux bouts de la ligne deux distributeurs synchroniques chargés de la distribution ou répartition des courants de transmission dans des électro-aimants récepteurs disposés de manière que l'effet produit par les courants, c'est-à-dire le déplacement d'une ou plusieurs armatures persiste jusqu'à ce que la traduction en caractère d'imprimerie de la combinaison reçue ait eu lieu.

Cette traduction a donné lieu à la construction de combinateurs mécaniques excessivement ingénieux que nous ne pouvons décrire ici.

Nous ne parlerons que du premier combinateur utilisé par M. Baudot et représenté sur la figure théorique n° 8.

Les cinq frotteurs 1, 2, 3, 4, 5 étaient solidaires de la roue des types qui était celle d'un appareil Hughes, (le Hughes ayant été utilisé au début par M. Baudot comme appareil récepteur). Les frotteurs parcouraient successivement toutes les divisions du combinateur qui était fixe.

Les armatures des électro-récepteurs peuvent occuper deux positions : la *position de travail* et la *position de repos*.

Lorsqu'une ou plusieurs armatures ont été amenées dans la position de travail par un ou plusieurs courants de transmission, elles y restent jusqu'à la fin d'une révolution de la roue des types, après quoi elles sont ramenées par un effet local à leur position de repos ; à ce moment, le caractère pour lequel elles ont été mises en action est imprimé et une nouvelle combinaison peut être reçue par les électro-aimants récepteurs.

Les 5 signes élémentaires d'une combinaison sont représentés sur le distributeur par 5 *contacts* ou *plots* qui occupent soit 1/4, soit 1/5 ou 1/6, etc... de la circonférence suivant que l'on veut faire du quadruple, du quintuple ou du sextuple, etc...

Ces 5 contacts forment un secteur du distributeur. Ils sont reliés dans le *poste transmetteur* à 5 leviers (clavier de 5 touches) avec lesquels on fait les combinaisons. Dans le *poste récepteur*, ils sont reliés aux 5 électro-aimants chargés de recevoir les combinaisons et de les conserver jusqu'à ce que la traduction soit opérée, ce qui a lieu lorsque les cinq frotteurs du combinateur passent sur la division représentant la combinaison reçue.

Pendant que cette traduction s'opère en local, indépendamment du distributeur, d'autres transmissions peuvent avoir lieu sur les autres secteurs du distributeur, ce qui constitue véritablement un appareil multiple imprimeur où les signes élémentaires formant une combinaison sont envoyés *successivement* et non *simultanément* comme le concevait M. Mimault.

Distributeurs synchroniques, organes récepteurs d'attente ou d'emmagasinement, impression en un caractère typographique du signal reçu, à l'aide d'une roue des types

(1) M. Mimault, condamné en 1888 à dix années de travaux forcés pour avoir blessé mortellement l'ingénieur des télégraphes M. Reynaud qu'il accusait d'être l'auteur responsable de la perte du procès qu'il avait intenté à M. Baudot, est mort en 1898 à l'expiration de sa peine sans avoir revu sa patrie et sa famille. — On ne peut résister à un profond sentiment de tristesse en présence d'une fin si malheureuse et si loin des rêves de fortune qu'avait dû concevoir l'inventeur. (Les inventions ont leurs martyrs !)

tournant synchroniquement avec le distributeur, manipulation en cadence par suite de l'attribution à chaque employé d'un secteur du distributeur, sont autant de dispositions dont M. Mimault semble ne pas avoir eu la conception, quoique à cette époque le multiple Meyer fonctionnât depuis quelque temps au bureau central des télégraphes, ce qui aurait pu l'orienter dans cette voie.

Nous sommes entré dans les explications qui précèdent relativement aux travaux qui ont présidé à l'utilisation des signaux complexes formés de 5 signes simples élémentaires et nous avons mis sous les yeux du lecteur le collecteur Munier, à la suite des combinateurs Mimault et Baudot, afin de faciliter une première comparaison entre ces organes, comparaison qui aidera à l'intelligence des explications qui vont suivre et qui ont pour but d'établir, c'est d'ailleurs le but que nous nous sommes proposé en publiant cet ouvrage, la supériorité des signaux complexes formés de *deux* signes simples élémentaires sur les signaux complexes formés de *cinq* de ces signes.

(A suivre.)

MUNIER.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

MOTEURS ÉLECTRIQUES

***Le moteur asynchrone monophasé*, par C.-P. Steinmetz.** *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XX, 29 juin 1899, p. 452 [1].

Avant de citer des exemples de moteurs asynchrones avec leurs différentes caractéristiques, M. Steinmetz expose d'une façon toute spéciale la théorie du moteur asynchrone monophasé sans employer le théorème de M. Leblanc, sur la décomposition d'un champ alternatif de direction constante, en deux champs tournants de sens contraires.

Un moteur asynchrone monophasé comporte : 1° Un primaire composé d'une seule bobine ou de plusieurs bobines auxquelles sont appliquées des différences de potentiel de même phase.

2° Un secondaire, identique à celui d'un moteur polyphasé, c'est-à-dire composé de plusieurs bobines formant un système polyphasé.

Cette disposition est nécessaire pour que, quelle que soit la position relative du primaire et du secondaire, il y ait toujours une bobine de ce dernier opposée directement aux bobines primaires.

[1] Voir les articles de M. GUILBERT sur : Le transformateur général de M. Steinmetz, *Ecl. Elect.*, t. VII, p. 97, 1896. Moteurs asynchrones de M. Steinmetz, *Ecl. Elect.*, t. XIII, p. 510, 1897.

Un moteur monophasé, dont le secondaire est constitué par une seule bobine en court-circuit, est un moteur d'induction synchrone, qui peut fournir du travail en marchant au synchronisme, mais possède sous toutes les charges un facteur de puissance très faible, et rentre dans une catégorie spéciale de moteurs, qu'on peut appeler « les machines à réaction ».

Au synchronisme ou dans son voisinage, le champ magnétique du moteur monophasé est identique à celui des moteurs polyphasés ; l'intensité de ce champ est la même dans toutes les directions, mais de phase différente ; c'est un champ tournant ordinaire.

On constate en effet qu'au synchronisme la force électromotrice induite dans une spire placée normalement à la bobine primaire (c'est-à-dire sans induction mutuelle par rapport à celle-ci), est la même que la force électromotrice induite dans une spire placée parallèlement à cette même bobine primaire.

Dans la direction de l'axe du circuit primaire le flux est engendré par la résultante des forces magnétomotrices des bobines primaires et secondaires : dans la direction perpendiculaire le flux est engendré par la force magnétomotrice des courants secondaires induits, car la force magnétomotrice du primaire est nulle dans cette direction.

Il résulte de là que : 1° alors que dans un moteur polyphasé, au synchronisme, il n'y a aucun courant dans le secondaire, dans un moteur monophasé, même au synchronisme il existe dans le secondaire des courants induits ; ce sont les courants d'excitation du magnétisme transversal ;

2° Le courant primaire dans un moteur monophasé au synchronisme, comprend non seulement le courant d'aimantation analogue au courant à vide d'un transformateur, mais aussi le courant nécessaire pour engendrer les ampères-tours induits donnant naissance à la composante transversale du champ magnétique : cette composante transversale étant égale à la composante suivant l'axe du primaire, il en résulte que les ampères-tours induits transversaux sont égaux aux ampères-tours primaires, donnant naissance au flux suivant l'axe, et par suite comme ces ampères-tours doivent se retrouver sur l'induit, les ampères-tours primaires totaux seront la somme des précédents.

Donc, si l'on emploie en monophasé des moteurs diphasés ou triphasés en n'utilisant qu'une seule des phases, le courant primaire total d'excitation sera respectivement le double et le triple du courant d'excitation dans ces moteurs employés en polyphasés, avec même voltage aux bornes, et par suite même aimantation dans l'induit.

D'autre part on sait qu'à égale aimantation, le couple maximum est beaucoup plus faible en monophasé qu'en polyphasé : si on prend comme couple normal une fraction constante du couple maximum, le courant d'excitation, étant resté le même en monophasé et en polyphasé, aura plus d'importance dans le premier cas que dans le second par rapport au courant de pleine charge.

La cause de cette aimantation transversale au synchronisme et dans son voisinage, réside dans ce fait que les courants secondaires induits sont d'une part décalés dans le temps, en retard de 90° sur le flux magnétique primaire, et d'autre part décalés dans l'espace en avance de 90°, c'est-à-dire atteignant leur maximum dans la direction perpendiculaire à l'aimantation primaire : ces courants se comportent donc comme une seconde bobine excitatrice décalée de 90° sur la première, et dans le temps et dans l'espace, et ils peuvent d'ailleurs être engendrés par une bobine excitatrice placée de cette façon, et alimentée par une différence de potentiel en retard de 90° sur la précédente, comme cela se fait dans le système monocyclique.

Au-dessous du synchronisme l'angle de décalage dans l'espace de ces courants induits devient plus petit que 90°, et l'aimantation transversale est réduite proportionnellement à la vitesse, jusqu'à devenir nulle pour le moteur au repos.

Dans un moteur asynchrone, le couple est proportionnel au produit de la composante énergétique des courants induits par le flux magnétique perpendiculaire à leur direction. Dans un moteur polyphasé, ce flux est constant dans toutes les directions, pour toutes les vitesses, et proportionnel à la force contre électromotrice e, de telle sorte qu'on peut prendre pour expression du couple

$$C = eI_1.$$

Dans un moteur monophasé les courants énergétiques ne peuvent circuler que parallèlement au circuit primaire, car ils ne peuvent être engendrés que par des courants primaires dans cette direction.

Le flux magnétique perpendiculaire à cette direction est, d'après ce que nous avons vu plus haut, proportionnel à $e\,(1-s)$, où s désigne le rapport du glissement à la vitesse du synchronisme.

Le couple est alors, en monophasé :

$$C = (1-s)\,eI_1$$

et la puissance utile

$$P = (1-s)^2\,eI_1$$

Constantes des moteurs asynchrones. — M. Steinmetz rappelle d'abord que les caractéristiques d'un transformateur ou d'un moteur asynchrone sont indépendantes du rapport de transformation, qu'on peut, par suite, prendre égal à 1 ; c'est ce que nous ferons dans ce qui va suivre.

Soient : $(i = \sqrt{-1})$, pour un moteur polyphasé,

$$y_0 = a - bi,$$

l'admittance primaire de l'inducteur ou primaire à circuit secondaire ouvert (admittance = inverse de l'impédance), admittance dans laquelle on a tenu compte des termes de correction dûs

à l'hystérésis et aux courants de Foucault [1].

$$R_1 = r_1 + s_1 i = r_2 + s_2 i$$

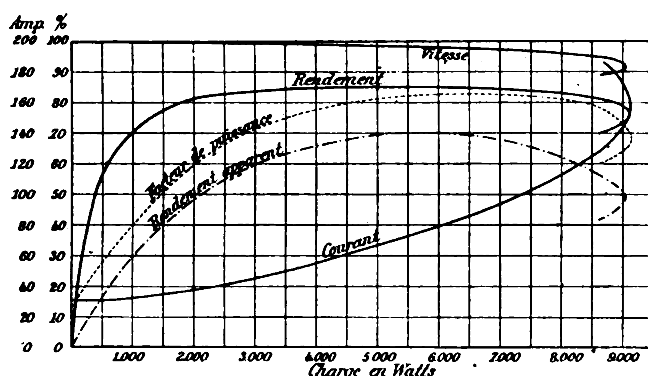
les impédances primaire et secondaire, supposées égales, après réduction au même nombre de spires. $s_1 = s_2$ représente la réactance de fuite [2].

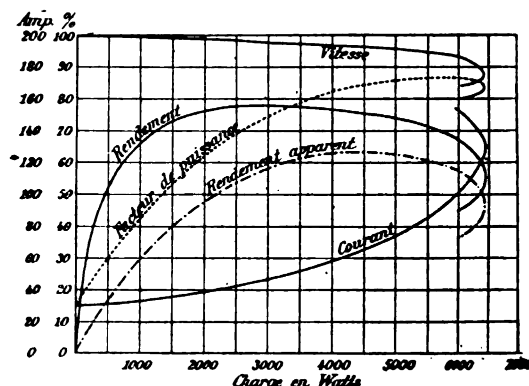
Si z est l'impédance par phase d'un secondaire diphasé, l'impédance résultante totale sera $\frac{z}{2}$ pour le secondaire ; pour un secondaire triphasé, ces nombres seront z et $\frac{z}{3}$.

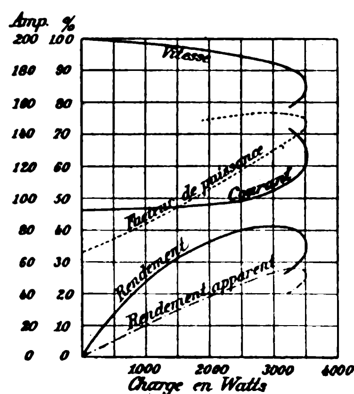
L'impédance secondaire d'un moteur monophasé est donc plus faible par rapport à l'impédance primaire, que pour un moteur polyphasé, à rapport de transformation égal ; et le glissement sous charge, proportionnel à la résistance secondaire, sera de même inférieur à celui d'un moteur polyphasé, toutes égales choses d'ailleurs.

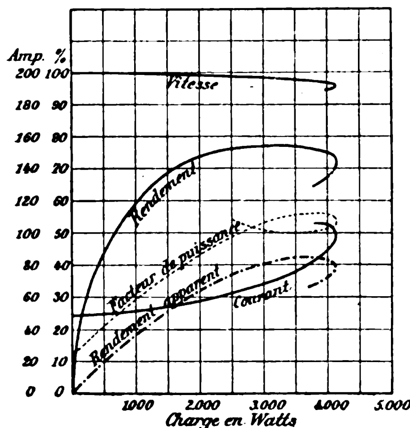
Si dans un moteur diphasé l'admittance primaire à vide est

$$y' = a' - b'i,$$









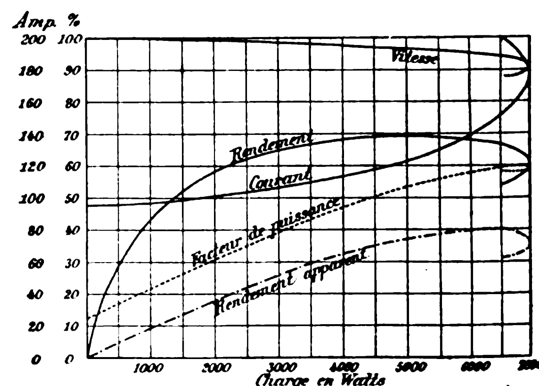


Fig. 1 à 5.

pour chacune des phases, l'admittance du moteur, utilisé comme moteur monophasé avec une seule bobine primaire, sera

$$y = 2y' = a - bi.$$

De même en triphasé,

$$y = 3y'' = a - bi.$$

L'impédance primaire du moteur d'induction monophasé est l'impédance du circuit primaire employé.

L'impédance secondaire, réduite au système primaire, pour un moteur di ou triphasé d'impédance z' par circuit, est respectivement $\frac{z'}{2}$ et $\frac{z'}{3}$.

(1) Voir *L'Éclairage Électrique*, t. VI, p. 337 et 390, 1896. M. Guilbert.

(2) Voir Transformateur général de M. Steinmetz, par M. Guilbert, t. VII, p. 97, 1896.

TABLEAU A

$E_0 = 100$

	$y = a - bi$	$R_1 = r_1 + s_1 i$	$\delta = 2yR$	$\beta = \frac{a}{y}$	$\gamma = \frac{r}{R}$	Cm	Pr	P_m	S	λ	Facteur de puissance sous 4/4 de charge	Facteur de puissance sous 1/2 de charge	Facteur de puissance sous 1/4 de charge	Rendement sous 4/4 de charge	Rendement sous 1/2 de charge	Rendement sous 1/4 de charge	Rendement apparent sous 4/4 de charge	Rendement apparent sous 1/2 de charge	Rendement apparent sous 1/4 de charge
	Moteurs triphasés.																		
	0,005 + 0,05 i	0,1 — 0,3 i	3,18	10,0	31,6	9	5,65	1,33	6,3	8,7	96,6	95	91	85	93	93,5	82,2	88	85
	0,01 + 0,1 i	0,05 — 0,3 i	6,12	10,0	16,4	8,90	5,75	1,42	3,2	16,7	88,7	88,7	77,8	92,4	93,5	90,8	82	83,1	70,5
·1	0,01 + 0,1 i	0,1 — 0,3 i	5,36	10,0	31,6	8,25	5,15	1,36	6,3	17,4	89	88,5	74	86,5	91,2	88,2	77,4	81	65
	0,01 + 0,1 i	0,2 — 0,3 i	7,26	10,0	55,4	7,10	4,20	1,24	11	19,5	91	88,4	71	76	86,5	85	69,2	76	60
	0,01 + 0,1 i	0,4 — 0,3 i	10,04	10,0	80	6,30	2,90	1,12	6,18	25	93	83	57	66	85	90	61	70	51
	0,02 + 0,2 i	0,1 — 0,3 i	12,70	10,0	31,6	7,90	4,95	1,35	6,3	32	83	74	55	84	87	80	70	64,5	44
	0,02 + 0,2 i	0,2 — 0,3 i	14,52	10,0	55,4	6,80	4	1,26	11	36	85	72	50,5	75,5	80,6	74	64,3	58,2	37,5
·4	0,04 + 0,4 i	0,05 — 0,3 i	24,44	10,0	16,4	7,90	5,10	1,42	3,2	51,4	69,4	55	37	86,4	83	73,5	60,5	45,5	27
·5	0,02 + 0,4 i	0,1 — 0,3 i	25,35	5,0	31,6	7,60	4,75	1,35	6,3	52	71	54	36	82	82,3	75	58,2	44,5	26
	0,04 + 0,4 i	0,1 — 0,3 i	25,40	10,0	31,6	7,30	4,55	1,35	6,3	53,4	71	54	36	79,7	79	69	56	42,5	25
·3	0,04 + 0,4 i	0,3 — 0,3 i	34,20	10,0	70,7	5,50	3,10	1,13	16,5	62,5	75	53	37	60.6	61,3	47	45,3	32,5	17
	Moteurs monophasés.																		
	0,03 + 0,3 i	0,1 — 0,3 i 0,033 — 0,1 i	12,72	10	31,6	9,9	6,4	1,43	2,8	36	82	73	52,5	84,5	85	78	70	61,5	40,5
	0,03 + 0,3 i	0,2 — 0,3 i 0,067 — 0,1 i	14,52	10	55,4	7,5	4,8	1,36	4,3	44,3	85	67,5	47	74,5	78	69	62	53	33,5
	0,12 + 1,2 i	0,05 — 0,3 i 0,167 — 0,1 i	48,88	10	16,4	8,8	5,8	1,43	1,9	73	52	36	24,5	76	68	52	39,5	24,5	13
	0,06 + 1,2 i	1 — 0,3 i 0,033 — 0,1 i	50,7	5	31,6	7,75	5,0	1,41	3,4	78	53,5	35	24	69,5	62,5	47,5	37	22	11
	0,12 + 1,2 i	0,3 — 0,3 i 0,1 — 0,1 i	68,4	10	70,7	4,3	2,67	1,33	6,8	92	60,5	45,7	38,5	40	28,6	17	24,3	13,5	6,8

Ces préliminaires posés, M. Steinmetz étudie le fonctionnement en monophasé des moteurs polyphasés (dont on n'utilise qu'une phase), avec les données déjà indiquées dans *L'Éclairage Électrique* (¹).

Les figures 1, 2, 3, 4 et 5, représentent les courbes de charge de 5 moteurs types, asynchrones fonctionnant en monophasé ; leur fonctionnement en polyphasé est donné dans un précédent article (²).

On pose :

$$1^{\circ}\ \delta = 2yR,$$

produit de l'impédance par l'admittance, égal au rapport entre le courant d'excitation et le courant de court-circuit.

$$2^{\circ}\ \beta = \frac{a}{y},$$

β étant le facteur de puissance à secondaire ouvert.

$$3^{\circ}\ \gamma = \frac{r_1 + r_2}{2R} = \frac{r}{R}\ (\text{si } r_1 = r_2 = r)$$

le facteur de puissance d'impédance.

R et y sont les modules de R_1 et y_1.

Les constantes de ces moteurs et de quelques autres sont données dans le tableau A.

On y trouvera aussi :

C_m le couple maximum, représenté par des kilowatts à la vitesse du synchronisme ;

P_r la puissance normale, relative à un couple égal au 2/3 du couple maximum ;

$\frac{P_m}{P_r} = \frac{\text{puissance maximum,}}{\text{puissance normale.}}$

s le glissement à la marche normale ;

λ, le courant à vide en pour cent du courant normal ;

Le facteur de puissance, le rendement, et le rendement apparent $\frac{\text{puissance effective.}}{\text{volt-ampères absorbés}}$ à différentes charges.

Les moteurs marqués d'une astérisque sont des moteurs types ; ce sont :

N° 1. Bon moteur.

N° 2. Moteur à grande résistance intérieure.

N° 3. Moteur à grande résistance et à grand courant à vide.

N° 4. Moteur à grande self-induction.

N° 5. Moteur à forte induction magnétique.

Dans les moteurs monophasés, il faut prendre pour R l'impédance moyenne des deux impédances primaire et secondaire qui ne sont plus ici égales (R_m désignant l'impédance moyenne en monophasé, et R_t en triphasé).

$$R_m = \frac{R_1 + R_2}{2} = \frac{r_1 + r_2}{2} + \frac{s_1 + s_2}{2}\, i.$$

Pour le triphasé, employé en monophasé, on a $R_m = 2/3\ R^t$, et par suite

$$\delta_{\text{monophasé}} = 2\delta_{\text{triphasé}}.$$

Il en est de même en diphasé.

La valeur d'un moteur asynchrone dépendant surtout de la petitesse de la constante δ, on en déduit l'infériorité du moteur monophasé, pour lequel toutes choses égales d'ailleurs, cette constante est double de sa valeur en polyphasé.

Les courbes de rendement et de facteur de puissance croissent aussi plus lentement en monophasé ; leurs maxima sont plus faibles ; si bien qu'un bon moteur polyphasé se transforme en un moteur monophasé moyen et que pour avoir un bon moteur monophasé il faut partir d'un moteur polyphasé supérieur.

Les autres différences entre le monophasé et le polyphasé sont les suivantes :

En monophasé la vitesse est plus constante, c'est-à-dire le glissement plus faible ; le couple maximum et la puissance maximum sont compris entre les valeurs de ces mêmes quantités relatives à une phase, et à la moitié des trois phases ; ceci s'entendant à égale tension aux bornes.

Mais en augmentant cette tension aux bornes, ce qui revient à modifier l'enroulement primaire, on peut augmenter la puissance : à échauffement égal, en augmentant l'induction de 25 à 30 p. 100, on peut obtenir les 2/3 ou les 3/4 de la puissance en polyphasé.

La diminution du couple et de la puissance avec la vitesse est plus rapide, à cause du facteur $(1-s)$.

Dans un moteur polyphasé l'introduction d'une résistance non-inductive dans l'induit ne modifie pas la valeur du couple maximum, mais augmente seulement le glissement correspondant à ce point : en monophasé, elle amoindrit ce couple, et peut le réduire à zéro.

(¹) Voyez t. XIII, p. 515, 1897. Les moteurs asynchrones de M. Steinmetz, C.-F. Guilbert.

(²) Voir *loc. cit.*, figures 3, 4, 5, 6 et 7.

Les figures 6 à 10 donnent le courant, le facteur de puissance, le rendement en couple, réel et apparent (le rendement en couple est le rapport du couple vrai au couple correspondant s'il n'y avait pas d'énergie perdue dans le moteur), avec les vitesses en abscisses, pour le moteur n° 1, en triphasé et en monophasé, et les valeurs de la résistance secondaire : 0,033 ; 0,0833 ; 0,2 ; 0,533 ; ou 0,1 ; 0,25 ; 0,6 et 1,6 par circuit secondaire.

L'auteur termine en comparant sa méthode d'étude du moteur monophasé avec celle qui consiste à décomposer, suivant le théorème de M. Leblanc, un champ alternatif simple et deux

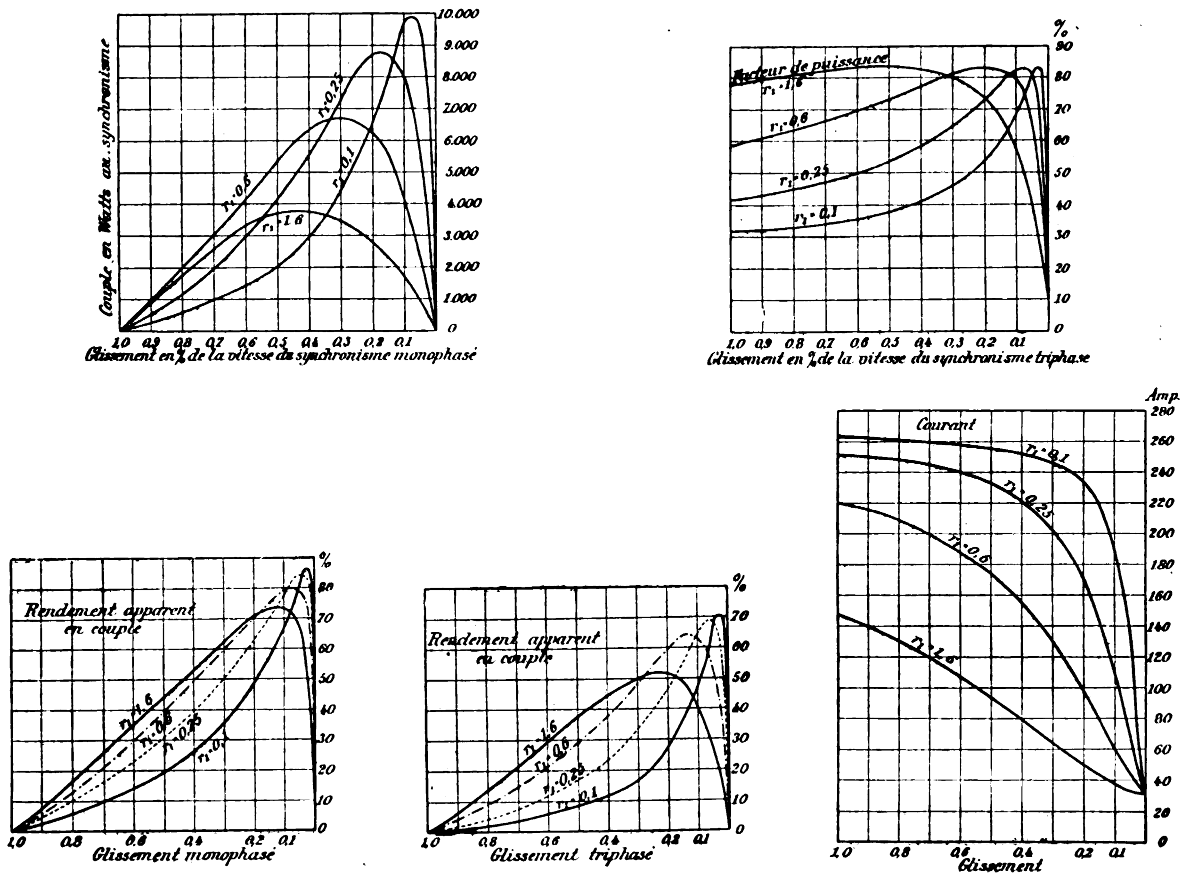


Fig. 6 à 10.

champs d'intensité moitié tournant en sens inverse l'un de l'autre avec la même vitesse.

D'après M. Steinmetz, cette dernière méthode conduirait à des résultats inexacts.

« Il indique, dit-il, pour le courant à vide, un courant égal à la somme des courants à vide de deux moteurs polyphasés de tension moitié l'un tournant dans le sens ordinaire, l'autre tournant avec la même vitesse en sens inverse : or le courant correspondant à ce second moteur est plusieurs fois plus grand que celui qu'on constate dans un moteur monophasé. En outre, la courbe du couple coïncide très bien avec celle qui résulte de l'hypothèse donnée par moi d'une composante transversale du magnétisme proportionnelle à la vitesse, tandis que d'après le procédé qui consiste à faire la différence des couples relatifs aux deux champs tournants, on obtient une courbe contenant des couples négatifs au-dessus d'une certaine valeur de la résistance secondaire (0,6 dans le moteur 1) ; conclusion contraire à l'expérience qui ne donne jamais de couple négatif quelque grande que puisse être cette résistance. »

L'auteur ajoute que lorsqu'on s'éloigne trop du synchronisme la composante transversale du

magnétisme n'est plus proportionnelle à la vitesse, mais en devient une fonction beaucoup plus compliquée.

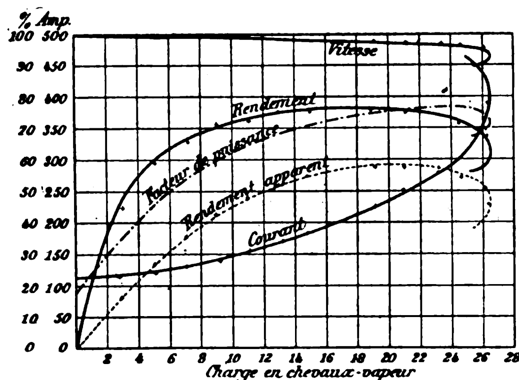


Fig. 11.

Il donne ensuite (fig. 11 et 12), les courbes calculées d'un moteur [1], les croix représentant

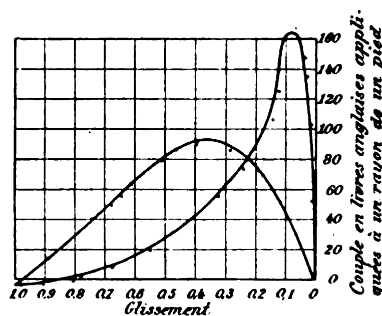


Fig. 12.

les résultats d'essais; les deux courbes de la figure 10 se rapportent à des résistances différentes de l'induit. La coïncidence est très satisfaisante.

Mauduit.

DÉPERDITION ET DÉCHARGE

Sur la vitesse et la masse des ions dans le souffle électrique dans l'air; par **Chattock**, *Philosophical Magazine*, 3e série, t. XLVIII, p. 401, nov. 1899. Résumé par Perreau dans le *Journal de Physique*, t. IX, p. 110, févr. 1900.

Soit une pointe placée en face d'une plaque à une distance z. Entre les deux il existe une différence de potentiel, et il passe un courant C, de l'une à l'autre. D'après M. Chattock, le passage de l'électricité se fait par des ions qui frottent sur le gaz.

Si V est la vitesse de ces ions dans un champ électrostatique produit par une différence de potentiel de une unité électrostatique C. G. S. par centimètre, on établit que $V = \frac{Cz}{p}$, où p est le frottement total sur les gaz dû aux forces électriques seules, $p = P - \pi$; P, pression totale due au courant, et π, pression due à l'inertie des ions.

Cette formule permet de calculer V. On mesure C avec un galvanomètre; p se détermine en mesurant, en chaque point de la plaque, quelle est la pression dp produite par le souffle électrique. Pour cela, la plaque est percée d'un trou relié à une branche d'un tube en U contenant de l'eau. En déplaçant la pointe par rapport au trou, on détermine la répartition de dp sur la plaque et, en intégrant, on obtient p. On fait cette mesure pour diverses valeurs de z.

On fait aussi des mesures en remplaçant la plaque par un anneau. La pointe et l'anneau sont placés dans un tube en verre, dont deux tubulures latérales, placées de chaque côté du système, sont reliées aux deux branches du tube en U.

P s'obtient alors en multipliant par la section du tube de verre la différence de pression mesurée par le tube en U. A cause de la forme de l'anneau, on peut négliger l'effet de sa section.

Les résultats obtenus donnent :

$V + = 413$ centimètres par seconde
$V - = 540$ — —
Somme $= 953$. Rapport 1,31.

Rutherford donne 960 pour la même somme, pour les ions produits par les rayons Rœntgen. Zeleny donne 1,25 pour le rapport.

En supposant que les ions perdent par leur frottement tout leur mouvement avant d'atteindre la plaque, on a une limite supérieure de la vitesse v de l'air dans le souffle par la relation

$$v^2 \times \text{densité de l'air} = \frac{P}{\text{aire du courant}}$$

On a :

$v + = 120$ centimètres par seconde
$v - = 95$ — —

[1] Voir la figure 1 de l'article de M. Guilbert. *L'Éclairage Électrique*, t. XIII, p. 515, 1897.

Si e est le rapport de la masse à la charge d'un ion, et F le champ électrique puissant dans lequel il se déplace, on a :

$$K\pi = CeVF;$$

où :
K = 1 si les ions marchent tous dans la direction où on mesure la pression ;
= 2 s'ils rayonnent uniformément dans une sphérique hémisphérique ;
= 2 s'ils rayonnent de tous côtés.

On a pris K = 1,5, les autres valeurs étant :

$\pi = 0,7$ dyne
$C = 7,100$ *u.* E. S.
$V = 413$,
$F = 1.870$ *u.* E. S. pour une part de 0,0055 c. de diam.

On a obtenu :

$$e = 1,9 \times 10^{-10} \text{ E. S.}$$

On a essayé aussi de déterminer π en plaçant la pointe au centre d'un anneau de grand diamètre, formé d'un fil mince. L'excès de pression, dans ce cas, doit être π. Mais les résultats sont un peu sujets à caution, à cause de l'irrégularité de la décharge.

Sur les masses des ions dans les gaz aux basses pressions, par **J.-J. Thomson**, *Philosophical Magazine*, t. XLVIII, p. 547-567, décembre 1899. Mémoire présenté au dernier Congrès de l'Association Britannique, à Douvres. Résumé par PERREAU dans le *Journal de physique*, 3e série, t. IX, p. 120, février 1900 (1).

J.-J. Thomson a déjà donné une mesure du rapport $\frac{m}{e}$ de la masse m d'un ion à sa charge électrique e, dans le cas du rayonnement cathodique ; il a trouvé que ce rapport, indépendant de la nature du gaz et de celle des électrodes, est beaucoup plus petit que le rapport correspondant pour l'anion dans l'électrolyse des solutions ; mais il n'a pu faire de mesure directe de m ou de e pour décider si, comme tout le lui faisait présumer, la masse m du charrieur de l'électricité négative est une fraction seulement de celle de l'atome.

Le mémoire actuel contient un ensemble de mesures du rapport $\frac{m}{e}$ et de la charge même e, dans le cas des ions charriant l'électricité négative produite par la lumière ultra-violette.

Voici d'abord le principe de la méthode de mesure de $\frac{m}{e}$.

La déperdition de l'électricité négative aux basses pressions est très réduite, quand on fait agir un champ magnétique perpendiculairement aux lignes de force électrique (Elster et Geitel). J.-J. Thomson calcule l'effet d'une force magnétique H uniforme et parallèle à Oz sur le mouvement d'une particule électrisée négativement, de masse m, de charge e, soumise à la force électrique X, uniforme et parallèle à Ox. Pour faire ce calcul, il faut supposer la pression assez faible pour que le chemin moyen parcouru librement par une particule soit assez long pour qu'on puisse négliger l'effet des collisions. On arrive alors aux équations suivantes du mouvement :

$$y = \frac{Xm}{eH^2}\left\{\frac{e}{m}Ht - \sin\left(\frac{e}{m}Ht\right)\right\}$$

$$x = \frac{Xm}{eH^2}\left\{1 - \cos\left(\frac{e}{m}Ht\right)\right\}$$

La particule décrit une cycloïde définie par le roulement d'un cercle de diamètre égal à $\frac{2Xm}{eH^2}$ sur la droite $x = 0$.

Supposons qu'on expose une lame métallique A à l'action de la lumière ultra-violette, passant à travers une toile métallique B, parallèle à A et portée à un potentiel plus élevé que A. En faisant agir la force magnétique H perpendiculairement à la force électrique, le calcul précédent indique que, si la distance entre A et B est supérieure à $\frac{2Xm}{eH^2}$, toute particule issue de A y reviendra sans atteindre B, d'où une diminution de la déperdition. J.-J. Thomson observe cette diminution et mesure la distance entre A et B, pour laquelle elle commence ; écrivant que cette distance est égale à $\frac{2Xm}{eH^2}$, il en déduit $\frac{m}{e}$. Il trouve ainsi, comme valeur moyenne de $\frac{e}{m}$ $7,3 \times 10^6$, alors que, dans le cas des rayons cathodiques, il a trouvé 5×10^6, et Lenard, $6,4 \times 10^6$.

Il a étudié aussi la déperdition pour un filament de charbon chargé négativement dans une atmosphère d'hydrogène. Elster et Geitel ayant aussi reconnu que cette déperdition, aux basses

(1) Voir aussi dans *L'Éclairage Électrique* du 28 avril (p. 156 le compte rendu de la conférence de M. Langevin. « Sur l'ionisation des gaz. »

pressions, est réduite par l'action d'un champ magnétique, J.-J. Thomson a déduit de ces expériences un nouveau moyen d'évaluer le rapport $\frac{e}{m}$, qu'il trouve égal à $8{,}7 . 10^6$.

En résumé, la valeur $\frac{e}{m}$ est du même ordre de grandeur dans le cas de rayonnement cathodique, dans le cas de la convection produite par la lumière ultra-violette et dans le cas de la déperdition par un filament de charbon dans l'hydrogène ; elle diffère probablement, dans chacun de ces trois cas, de la valeur de $\frac{e}{m}$ correspondant aux ions d'hydrogène, lors de l'électrolyse ordinaire, qui est de 10^4. J.-J. Thomson a ensuite déterminé la charge *e* d'un ion produit sous l'action de la lumière ultra-violette sur une plaque de zinc. La méthode employée est identique à celle qu'il avait imaginée pour mesurer la charge des ions produits par les rayons Rœntgen.

Les ions produits par la lumière ultra-violette forment aussi des noyaux sur lesquels l'eau se condense dans l'air exempt de poussières, quand la sursaturation dépasse une certaine limite (Wilson). L'observation de la vitesse de chute du nuage et de la charge totale des ions donne les éléments du calcul de la charge *e* de chaque ion. J.-J. Thomson a réussi à faire cette mesure en employant une source peu intense de lumière ultra-violette et a trouvé, comme valeur moyenne, $e = 6{,}8 \times 10^{-10}$ unités électrostatiques. Or, il avait précédemment trouvé, pour les ions produits par les rayons Rœntgen, $6{,}5 \times 10^{-10}$,

La charge *e* est donc la même pour un ion ainsi chargé négativement dans deux cas très différents et, de plus, elle est égale à la charge positive charriée par un atome d'hydrogène dans l'électrolyse ordinaire, d'après Townsend.

Quant à la masse de l'ion négatif dans les gaz à basses pressions, il résulte de la valeur $\frac{m}{e}$ qu'elle est excessivement faible, soit environ $1{,}4 \times 10^{-3}$ fois celle de l'ion hydrogène dans l'électrolyse, alors que la masse de ce dernier ion est la plus petite qu'on reconnaisse aujourd'hui capable d'être isolée.

L'électricité positive semble, au contraire, d'après tout ce qu'on sait jusqu'ici, toujours associée à des masses comparables à celles des atomes ordinaires. Enfin, dans les gaz dont la pression est comparable à la pression atmosphérique, les charges négatives elles-mêmes semblent charriées par des masses du même ordre.

J.-J. Thomson termine cet important mémoire en précisant davantage les idées théoriques qu'il a déjà émises sur l'ionisation des gaz. Cette ionisation consiste, pense-t-il, en ce que l'atome perd une très petite partie définie de sa masse, un corpuscule qui constitue l'ion négatif. Selon lui, ce corpuscule jouerait un rôle fondamental dans tous les phénomènes électriques. L'atome contiendrait un grand nombre de ces corpuscules, égaux entre eux, la masse de chacun étant celle de l'ion négatif qui existe dans un gaz à basse pression, soit environ 3×10^{-26} gr.

Bien que tous les corpuscules soient négatifs individuellement, leur assemblage en un atome normal déterminerait, dans l'espace qu'ils occupent, une charge positive égale à la somme de leurs charges négatives. L'électrisation du gaz proviendrait de la rupture de quelques-uns des atomes, un corpuscule seulement se détachant de chacun d'eux et constituant l'ion négatif, tandis que le reste de l'atome formerait l'ion positif, avec une charge égale en valeur absolue, mais de masse très grande par rapport à l'ion négatif.

Dans l'électrolyse ordinaire elle-même, la libération des anions et des cathions résulterait de la neutralisation de l'ion positif par un corpuscule venant de la cathode et de la neutralisation de l'ion négatif par le passage d'un corpuscule de celui-ci à l'anode. En somme, ces corpuscules seraient les véhicules de l'électricité d'un atome à un atome, et la masse d'un atome ne serait pas invariable ; ainsi, par exemple, dans la molécule HCl, l'atome hydrogène aurait une masse un peu moindre que la moitié de la masse de la molécule H^2, tandis que la masse de l'atome chlore serait un peu supérieure à la moitié de celle de la molécule Cl^2. Jusqu'ici on n'aurait pu détacher qu'un seul corpuscule de l'atome ; pour pouvoir en détacher deux il faudrait mettre en jeu des moyens plus puissants que ceux dont on dispose. Le phénomène de Zeeman contribuerait à faire admettre la présence effective de plusieurs corpuscules dans l'atome ; on a expliqué, en effet, ce phénomène par les mouvements de particules chargées négativement et, dans le fait qu'il peut exister dans

un spectre un nombre considérable de lignes montrant les effets Zeeman comparables en intensité, J.-J. Thomson voit la preuve de la présence d'un nombre considérable de corpuscules dans l'atome.

Corps en mouvement dans un champ électrique, conductibilité de l'air atmosphérique,

par **A. Heydweiller**. *Wied Ann.*, t. LXIX, p. 531-576, novembre 1899.

Un corps conducteur, placé dans un champ électrique à l'intérieur d'un milieu moins conducteur que lui, se recouvre de charges électriques superficielles, si le corps se déplace par rapport aux lignes de force du champ, ces charges produisent sur le conducteur des forces pondéromotrices. Ces forces tendent à amortir le mouvement du corps, quand celui-ci est plus conducteur que le milieu ambiant (forces *résistantes*) ; elles tendent à l'accélérer aux dépens de l'énergie électrique, quand c'est le milieu ambiant qui est le plus conducteur (forces *motrices*).

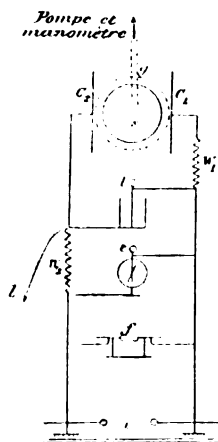


Fig. 1. — s, disque. — g, cage de verre. — C_1, C_2, armatures du condensateur. — W_1, W_2, résistances. — l, bouteille de Leyde. — i, machine de Holtz. — f, exploseur. — e, électromètre.

A côté de ces forces en interviennent d'autres de nature différente, dues à l'hystérésis diélectrique : par suite du mouvement du corps la direction de la polarisation dans le diélectrique ne coïncide plus avec la direction du champ.

D'après la théorie de Hertz, complétée par Schweidler, le moment du couple, qui s'exerce sur une sphère de rayons R, tournant avec une vitesse uniforme dans un champ dont les lignes de force sont perpendiculaires à l'axe de rotation et dont l'intensité, mesurée en unités électrostatiques est F, a pour expression :

$$D = R^2F^2 \frac{\frac{2}{3}\tau(\lambda_e - \lambda_i)}{1 + \left(\frac{2}{3}\tau\right)^2\left(2\lambda_e + \lambda_i\right)^2}$$

Dans cette formule, T désigne la période de rotation, λ_e, la conductibilité (en unités électrostatiques) du milieu, λ_i, celle de la sphère.

Le sens du couple dépend du signe de la différence $\lambda_e - \lambda_i$.

Il est trop difficile d'obtenir le phénoméne bien isolé, pour qu'il puisse servir à des mesures quantitatives : mais il peut servir à déceler des conductibilités très-faibles, qui ne seraient guère accessibles aux autres méthodes.

Heydweiller a effectué des expériences nombreuses sur des disques de différentes substances. L'humidité de l'air a une grande influence sur les résultats, aussi les disques étaient enfermés dans des cages en verre et restaient plusieurs semaines en présence de l'anhydride phosphorique.

Ils sont suspendus par un fil de cocon entre les plateaux d'un condensateur, reliés aux pôles d'une machine de Holtz et auxquels on communique un mouvement de rotation rapide.

Dans l'air atmosphérique, les disques de mica, de paraffine, de papier paraffiné, de papier ordinaire sec, de liège, prennent un mouvement de rotation prononcé, dans le sens de la rotation du champ, qu'ils soient à l'air libre ou enfermés dans la cage de verre, un disque de cuivre ne prend aucun mouvement. En mouillant la surface du mica, avec de l'eau distillée, ou recouvrant le papier de graphite, on diminue l'intensité du phénomène. Elle diminue aussi quand on raréfie l'air ; la rotation s'annule pour une faible intensité du champ et certaines pressions assez basses, puis reparaît plus accusée pour des pressions plus basses encore.

Le disque de mica tourne d'abord dans le sens du champ, puis aux petites pressions, en sens contraire, et aux très faibles pressions, de nouveau dans le sens primitif.

D'après ces résultats, on voit qu'à partir d'une certaine pression, les forces provenant de la différence de conductibilité l'emportent sur celles

qui proviennent de l'hystérésis diélectrique, car les premières seules sont susceptibles de donner naissance à des forces motrices : leur intensité croît donc avec celle du champ et dans un même champ croît avec la raréfaction jusqu'à un certain maximum.

Avec le disque de cuivre, les forces de la première espèce disparaissent, par suite de la grande conductibilité du cuivre, le disque ne fonctionne plus que comme indicateur des mouvements de l'air ambiant. Les phénomènes ne deviennent réguliers que quand la pression est descendue au dessous de 10 mm. Dans les champs peu intenses, la rotation de l'air est positive (en sens contraire de celle du champ) : dans les champs intenses, elle est négative, très faible d'ailleurs jusqu'à la pression de 0,1 mm et croissant un peu ensuite.

Dans un champ électrique de direction fixe, les phénomènes observés aux pressions hautes et aux pressions basses sont différents. Dans les deux cas, les mouvements sont dûs aux forces motrices, mais c'est seulement aux basses pressions qu'on obtient un régime stationnaire. Aux pressions plus élevées, ces forces motrices ont le caractère d'impulsions et ne se font sentir qu'au moment où le champ varie, c'est-à-dire quand il est créé ou supprimé : il n'y a plus de déviation permanente.

Les expériences peuvent se résumer ainsi :

Dans l'intérieur d'un récipient en verre, l'air aux pressions de 760 mm à quelques millimètres de mercure, reçoit, au moment où on établit le champ électrique, une impulsion notable, qui accroît les petits mouvements qui existaient auparavant : en établissant et supprimant périodiquement le champ, on multiplie l'intensité de cette impulsion : de cette manière, on peut communiquer à un disque, bon ou mauvais conducteur, un mouvement rapide d'oscillation ou de rotation, selon l'intensité du champ.

Lorsque l'air est plus raréfié (pressions de 5 à 0,1 mm), il prend, dans un champ constant et fixe, un mouvement de rotation permanent : les disques prennent alors une déviation constante, dépendant du moment de torsion de la suspension, à partir de la position d'équilibre qu'ils prennent dans l'air en repos.

Dans l'air fortement raréfié, au dessous de 0,1 mm les disques isolants (ébonite, mica, paraffine) bien secs et bien débarrassés de la couche d'air adhérente, sont soumis à un couple qui suivant l'intensité du champ provoque des oscillations autour de la position d'équilibre ou une rotation uniforme, ou une rotation fortement accélérée.

La théorie permet de relier ces phénomènes entre eux en les rattachant à la conductibilité du verre et à celle de l'air. La conductibilité du verre serait de l'ordre de $2 \; 10^{-24}$ CGS (électromagn.). La conductibilité de l'air dépend beaucoup de la pression et de l'intensité du champ : elle croit avec l'intensité du champ : elle croit aussi quand la pression diminue, jusqu'à un maximum et décroît ensuite. La pression à laquelle correspond ce maximum est d'environ 0,005 mm de mercure, mais dépend sans doute des dimensions du récipient.

Aux pressions supérieures à 5 mm et dans les champs dont l'intensité ne dépasse pas 5 unités électrostatiques CGS, la conductibilité de l'air est plus petite que celle de l'air. Aux pressions comprises entre 5 et 0,1 mm, la conductibilité de l'air est égale à celle du verre déjà dans des champs dont l'intensité est inférieure à 5 unités ; l'intensité du champ pour laquelle l'égalité a lieu est d'autant plus petite que la pression est plus basse.

Si l'air est encore plus raréfié, sa conductibilité, dans des champs assez faibles, au dessous de 5 unités, atteint la valeur 10^{-21} CGS (électromagn.)

L'ensemble des expériences est favorable à l'hypothèse de la dissociation électrolytique de l'air : dans les conditions des expériences, le degré de dissociation serait extrêmement faible.

Il n'est pas impossible que les mouvements des corps célestes soient influencés par des forces de cette nature : car la terre, le soleil, la lune possèdent des charges électriques considérables et les mouvements des planètes et de leurs satellites s'effectuent dans un champ électrique.

M. L.

Énergie dépensée par les décharges oscillatoires dans les tubes à vide, par G. Telesca. *Il Nuovo Cimento*, t. X, p. 420, décembre 1899.

Un condensateur formé de plusieurs bouteilles de Leyde, associées de façon à permettre de modifier de différentes façons la capacité, est chargé par un Ruhmkorff ou une machine de Holtz, la décharge se fait dans un tube à vide

dont on peut faire varier la raréfaction et qui est disposé dans un calorimètre genre Bunsen. Dans le circuit sont insérés un micromètre à étincelle placé dans un calorimètre à air de Villari et une hélice variable pour le changement de la self-induction, placée dans un calorimètre à pétrole.

M. Telesca déduit de ses expériences que :

1° La valeur du rapport de la quantité de chaleur développée dans l'étincelle ordinaire, à celle développée dans le tube à vide, dans les mêmes conditions, croît avec la raréfaction, la distance explosive, la période d'oscillation et l'amortissement.

2° La valeur du rapport entre la quantité de chaleur dégagée dans le tube et celle dégagée dans le circuit métallique décroît encore lorsque la raréfaction, la distance explosive, l'amortissement ou la période d'oscillation croissent.

3° Le rapport entre la quantité de chaleur développée dans l'étincelle et celle dégagée dans le circuit métallique diminue lorsque la raréfaction, la capacité, l'amortissement ou la période d'oscillation croissent ; elle augmente au contraire avec la distance explosive et la self-induction. G. G.

Sur un curieux phénomène observé en faisant passer un courant électrique dans un tube à gaz raréfié, par **A. Righi.** *Il Nuovo Cimento*, t. X, p 112, août 1899.

Un circuit électrique comprend une batterie de petits accumulateurs, un tube à gaz raréfié avec électrodes inégales (un disque et une pointe ou une boule et une pointe), un galvanomètre sensible et une forte résistance constituée par une colonne d'eau. Le tube paraît illuminé d'une manière continue et le galvanomètre mesure le faible courant qui traverse le circuit.

Il suffit de changer dans le circuit la place où est insérée la résistance pour modifier la luminosité du tube et l'intensité du courant. La loi d'Ohm peut n'être plus applicable puisque le circuit n'est pas parcouru par un courant continu mais par une série très rapide de décharges.

La position du galvanomètre dans le circuit ne semble pas avoir d'influence, ce qui est assez naturel, si l'on pense que sa résistance est très faible vis-à-vis de celle du circuit ; il n'y a donc à tenir compte que de la résistance de la colonne d'eau. A titre d'exemple M. Righi cite le résultat suivant d'une de ses expériences :

Le tube cylindrique contient de l'azote à 2 ou 3 dixièmes de millimètre de pression, les électrodes sont un disque d'aluminium et un fil de même métal placé suivant l'axe du disque. Le nombre des accumulateurs est de 282, la résistance de la colonne d'eau est de l'ordre de 30 mégohms. L'intensité observée au galvanomètre est de $5,48 \times 10^{-6}$ ampères si la résistance est entre le tube et le pôle positif et $0,4 \times 10^{-6}$ si elle est entre le tube et le pôle négatif. C'est là un des cas où l'on observe la plus grande différence dans les déviations ; le nombre des accumulateurs est à peine supérieur au minimum nécessaire pour que le courant traverse le tube.

Plus le nombre des accumulateurs augmente et plus la différence entre les deux déviations devient faible ; ainsi dans les deux cas cités, on observe

290	300	360	éléments
$6,44 \times 10^{-6}$	$7,56 \times 10^{-6}$	$14,5 \times 10^{-6}$	ampères
5,08 »	7,18 »	14 »	

Le phénomène est renversé si l'on change le sens du courant dans le tube. Le fil servant alors d'anode, le minimum d'éléments est plus grand que dans l'autre cas et la différence des déviations est moindre.

Beaucoup de tubes de formes différentes avec gaz et métaux différents ont donné des résultats analogues plus ou moins nets, du moment que les électrodes étaient inégales. En outre, le phénomène tend à disparaître si l'on diminue la résistance du circuit jusque vers quelques milliers d'ohms. G. G.

Influence de la température sur la chute de potentiel dans les gaz raréfiés, par **G. C. Schmidt**. *Dr. Ann.*, t. I, p. 625-648, avril 1900.

Les expériences ont été effectuées seulement sur l'azote.

Quand on augmente beaucoup l'intensité de la décharge, la lumière positive qui était rouge prend une très belle teinte orangée. Cette modification est différente de celles qu'on a constatées jusqu'ici et démontre que les propriétés de la décharge dépendent non de la densité du courant seule, mais aussi de la nature de l'excitation.

En élevant la température du gaz (jusqu'à 300°), qu'on maintienne soit la pression, soit le volume constant, la lumière positive primitive-

ment continue se stratifie et les strates deviennent plus grandes et plus brillantes, mais moins nettes à mesure que la température s'élève. Puis la lumière positive se retire du côté de l'anode et la décharge finit par devenir obscure.

Si l'on augmente la température de la cathode, la lueur négative s'étend, d'autant plus que la pression est plus basse, c'est l'effet que produit aussi une augmentation de l'intensité du courant.

Si l'azote est bien pur, le champ électrique dans le tube se maintient à une valeur constante pendant un temps assez long : mais si après avoir chauffé le tube, on le laisse se refroidir, la valeur du champ n'est plus la même à la même température : cette différence provient sans doute d'impuretés développées par l'action de la chaleur, provenant de l'humidité encore adhérente au verre ou de la graisse des robinets.

Dans la lumière positive, le champ décroît quand l'intensité de la décharge augmente, de la même manière quelle que soit la température, tandis que la chute de potentiel à la cathode décroît sous l'influence de l'élévation de température : le champ dans la lumière positive est indépendant de la chute de potentiel à la cathode.

Mais ceci n'est vrai qu'autant que la décharge n'est pas stratifiée. Dans la décharge stratifiée ou obscure, le champ augmente en général avec l'intensité.

Pour une intensité constante, le champ dans la lumière positive non stratifiée est indépendant de la température, si on maintient le volume du gaz constant, décroît quand la température augmente, si on maintient la pression constante : il décroît plus lentement que la densité du gaz.

La chute de potentiel à la cathode est indépendante de la température tant que toute la surface de la cathode n'est pas recouverte par la lueur négative et n'a pas atteint le rouge-blanc. Une fois que la cathode est entièrement recouverte par la lueur, la chute de potentiel croît proportionnellement à l'intensité de la décharge.

Décharge obscure. — Dans la décharge obscure, le champ croît avec l'intensité et cet accroissement est très notable : les conditions se rapprochent de celles de la loi d'Ohm ; ceci permet de supposer qu'à la température ordinaire, la décharge observée est la superposition d'un courant suivant la loi d'Ohm et d'un autre phénomène suivant une autre loi.

Le volume étant maintenu constant, le champ dans la décharge obscure croît quand la température s'élève : à pression constante, il décroît au contraire.

Il décroît quand on s'éloigne de l'anode vers la cathode et à peu près en raison inverse de la distance à la cathode.

La différence de potentiel totale entre les électrodes décroît lorsqu'on élève la température, d'abord lentement, puis plus vite, jusqu'à un minimum puis augmente de nouveau : dans un même tube, le minimum se produit à une température d'autant plus basse, que la différence de potentiel (ou ce qui revient au même la pression) initiale est plus petite. M. L.

Arc électrique entre électrodes de métal dans l'hydrogène et dans l'azote, par **L. Arons**. *Dr. Ann.*, t. I, p. 700-718, avril 1900.

Les électrodes sont des barres cylindriques de 5 à 8 mm de diamètre, dont la distance peut varier d'une fraction de millimètre à plusieurs millimètres. Elles sont recouvertes d'une cloche à bords rodés qui repose sur un plan de verre dressé : cette cloche renferme de l'azote ou de l'hydrogène. On allume l'arc au moyen des étincelles fournies par une bouteille de Leyde.

1. *Dans l'azote.* — Les expériences ont pu être effectuées sur l'aluminium, le cuivre, le cadmium, le fer, le magnésium, le laiton, le plomb, le platine et le zinc. L'étain fond immédiatement. En ce qui concerne l'argent, on ne réussit pas à obtenir dans l'azote un arc de quelque durée. Ce fait est d'autant plus surprenant que d'après les expériences de von Lang, c'est l'argent qui, dans l'air, exige la plus petite force électromotrice pour la production d'un bel arc. Pour expliquer ces propriétés singulières de l'argent, il faut admettre que les réactions chimiques entre les électrodes et l'atmosphère environnante jouent un rôle dans la production de l'arc et qu'entre l'argent et l'azote existent fort peu d'affinités chimiques.

Cette hypothèse se trouve justifiée par les observations : la surface des électrodes est toujours altérée, sauf avec l'argent : il se forme

des azotures comme on le vérifie directement sur les électrodes d'aluminium. Quand l'arc a brûlé un certain temps, on trouve la surface de l'aluminium recouverte d'une croûte assez épaisse, gris-noir, qui est soluble à chaud dans la lessive de potasse : la matière présente les caractères des azotures.

D'autre part, les parois de la cloche sont recouvertes d'un dépôt extrêmement divisé d'aluminium libre, n'ayant rien de l'aspect métallique, mais qui paraît résulter de la décomposition d'une combinaison, sans doute aussi un azoture. Cet azoture, susceptible de se former à la température très élevée de l'arc, se décomposerait à température plus basse.

Avec le magnésium, on réussit encore à mettre en évidence la formation de l'azoture : mais avec les autres métaux on constate seulement des changements de coloration de la surface.

Lorsque les électrodes sont en laiton, c'est surtout le zinc qui entretient l'arc et les dépôts ne renferment que des traces de cuivre.

D'une façon générale, pour des électrodes du même métal, la force électromotrice nécessaire à la production de l'arc est plus petite dans l'azote que dans l'air : le cuivre et le fer font exception.

Cette force électromotrice diminue quand on augmente l'intensité sans faire varier la longueur de l'arc; cette diminution s'observe toujours, quelle que soit la pression du gaz : mais la force électromotrice augmente avec la pression quand on maintient la longueur de l'arc et l'intensité constantes.

Pour chaque métal, il existe une valeur de l'intensité au-dessous de laquelle on ne peut entretenir l'arc : cette intensité minima est variable d'un métal à l'autre et l'ordre dans lequel se rangent les métaux selon la grandeur de ce minimum change quand on change la pression.

Avec certains métaux il est possible d'entretenir l'arc dans un certain intervalle de pression avec une intensité plus faible que le minimum correspondant à la pression atmosphérique : tels sont le zinc, le cadmium, l'aluminium.

Aux pressions inférieures à 1 mm de mercure, l'expérience n'est plus possible : les étincelles de la bouteille de Leyde ne passent plus entre les deux électrodes : par exception, on réussit à opérer avec le zinc et le magnésium parce que les arcs précédents laissent entre les électrodes un filament très résistant qui permet l'allumage de l'arc sans l'intervention des étincelles. Aux basses pressions, l'arc change d'aspect et dans le cas du magnésium ce changement est accompagné d'une variation notable de l'intensité et de la différence de potentiel (par exemple de 4,8 ampères et 14 volts à 4,3 ampères et 28 volts).

Toutes les observations signalées ont été faites avec une force électromotrice de 110 volts. Quand la force électromotrice est plus grande, les changements sont plus prononcés. En particulier, Arons a observé sur un arc fer-mercure jaillissant dans l'air à la pression de 10 mm et alimenté par un transformateur de courants continus donnant 680 volts, deux régimes différents : l'un correspondant à 0,47 ampère et 100 volts environ, l'autre à 0,18 ampère et 440 volts, par exemple. Ces régimes sont assez stables et s'échangent suivant un rythme à peu près régulier.

2. *Dans l'hydrogène.* — Les mesures dans l'hydrogène sont plus difficiles que dans l'azote. Même pour un certain nombre de métaux, il est impossible d'obtenir un arc dans l'hydrogène : pour les autres, l'arc ne se produit que dans des circonstances déterminées; pour tous, jamais quand la pression dépasse 400 mm.

Entre électrodes de cuivre, on n'a pas d'arc durable même quand la résistance extérieure est réduite à 6 ohms et la distance des électrodes à 0,1 mm. Avec le fer, on obtient l'arc seulement par une très forte intensité et l'anode ne tarde pas à fondre, de même avec l'argent. Les électrodes de platine deviennent bientôt incandescentes et l'arc s'éteint fréquemment.

L'étain ne donne pas d'arc : avec le plomb, on obtient l'arc avec une intensité relativement faible, aux pressions basses : aux pressions plus élevées, l'arc cesse et l'anode fond.

Avec l'aluminium, on n'observe que difficilement l'arc, et la fusion des électrodes se produit bientôt.

Il n'y a guère que le cadmium, le zinc et le magnésium avec lesquels on puisse entretenir un arc régulier, assez régulier du moins pour permettre d'effectuer des mesures. Il est difficile

de dire jusqu'à quel point ces phénomènes sont en rapport avec les propriétés chimiques, car les hydrures métalliques sont encore trop peu connus.

M. L.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

ACADÉMIE DES SCIENCES

Séance du 28 mai 1900.

De l'énergie absorbée par les condensateurs soumis à une différence de potentiel sinusoïdale, par **H. Pellat F. Beaulard**. *Comptes rendus*, t. CXXX, p. 1457-1460.

Dans une note récente [1], M. Beaulard a montré que les diélectriques ne présentent pas de phénomènes *d'hystérésis*, mais simplement de la *viscosité électrique*. Cela revient à dire qu'en dehors du champ électrique ces corps ne présentent pas de polarisation permanente, mais seulement une polarisation temporaire, ce qui est le résultat d'expériences de M. Pellat [2].

Les relations établies par celui-ci, dans son Mémoire sur la polarisation réelle des diélectriques et sur ses conséquences [3], permettent de trouver la valeur de l'énergie absorbée par un condensateur dont les armatures sont soumises à une différence de potentiel sinusoïdale. Ces relations s'appuient, les auteurs croient devoir le rappeler, sur l'existence, démontrée expérimentalement, de la *polarisation réelle* et sans autre hypothèse que d'admettre que la vitesse de cette polarisation est seulement fonction, pour une même substance, de l'écart $J - j$ entre la polarisation actuelle j et la polarisation limite J dans les mêmes conditions.

Le calcul [4] conduit à la relation remarquablement simple :

$$W_1 = \frac{1}{2} bh \frac{V_0^2}{c^2} = bh\varphi_0^2. \qquad (11)$$

en désignant par φ_0 l'*intensité efficace* du champ.

Cette formule n'est applicable que si le champ

---

[1] F. Beaulard. Sur l'hystérésis et la viscosité électrique (*Comptes rendus*, t. CXXX, p. 1182, 1900 : *Écl. Élect.*, t. XXIII, p. 234, 12 mai 1900).

[2] H. Pellat. Sur la polarisation vraie des diélectriques placés dans un champ électrique (*Comptes rendus*, t. CXXVIII, p. 1312, 1899 : *Écl. Élect.*, t. XX, p. 467, 23 septembre 1899). — Polarisation réelle des diélectriques. Conséquences de cette polarisation (*Ann. de Chimie et de Physique*, 7e série, t. XVIII, p. 150 et 571, 1899).

[3] *Loc. cit.*

[4] Considérons un condensateur dont les armatures de surface S sont séparées par un seul diélectrique d'épaisseur uniforme e et de pouvoir inducteur spécifique vrai K. Soient, au temps t, V la différence de potentiel des armatures et j l'intensité de la polarisation réelle : si dm est la variation de la charge des armatures pendant le temps dt, l'énergie électrique fournie pendant ce temps au condensateur est $dw = V dm$. La relation (5) du Mémoire précité donne

$$m = S\sigma = \frac{KSV}{4\pi c} + Sj, \quad \text{d'où} \quad dm = \frac{KS}{4\pi c} dV + S dj \qquad (1)$$

et

$$dw = \frac{KS}{4\pi c} V dV + SV dj. \qquad (2)$$

Si la différence de potentiel V est périodique, l'énergie absorbée (c'est-à-dire transformée en énergie calorifique dans le diélectrique) pendant une période T est donnée en régime permanent, puisque $\int_0^T V dV = 0$, par

$$w = S\int_0^T V dj = Sc\int_0^T \frac{V}{c} dj = Sc\int_0^T \varphi dj = -Sc\int_0^T j d\varphi, \qquad (3)$$

en représentant par φ l'intensité du champ électrique.

On a donc, pour l'énergie w_1 absorbée par l'unité de volume du diélectrique pendant une période,

$$w_1 = \frac{w}{Sc} = -\int_0^T j d\varphi. \qquad (4)$$

Si la différence de potentiel V est représentée par

$$V = V_0 \sin 2\pi \frac{t}{T}, \qquad (5)$$

les relations (37) et (38) du Mémoire donnent

$$j = B \sin\left(\frac{2\pi t}{T} + \delta\right), \quad B = \frac{V_0 bhT}{c\sqrt{4\pi^2 + b^2T^2}},$$

$$\sin\delta = \frac{-2\pi}{\sqrt{4\pi^2 + b^2T^2}}, \qquad (6)$$

reste assez faible pour que h soit une constante. Les expériences de M. Pellat [1] ont montré que, pour les champs intenses, h diminue quand l'intensité du champ augmente. Il résulte de là que la relation (11) donnera une valeur de W_1 trop forte pour les champs intenses, si h correspond à la valeur des champs faibles; autrement dit, W_1 est proportionnelle au carré de la différence de potentiel des armatures pour des champs faibles, mais paraîtra proportionnelle à une puissance ε de V plus petite que 2 pour des champs intenses. Ainsi s'explique le désaccord entre divers expérimentateurs, qui les uns ont trouvé $\varepsilon = 2$ et les autres des valeurs variables comprises entre 1,65 et 2.

Au point de vue de l'absorption de l'énergie et par conséquent de l'échauffement, on voit que les meilleurs diélectriques sont ceux pour lesquels b et h sont les plus faibles. Les méthodes simples indiquées pour mesurer b et h permettront donc de faire un choix parmi les diélectriques employés pour les condensateurs industriels.

En terminant, les auteurs rappellent que M. Hess a imaginé (*Écl. Élec.*, t. IV, p. 205, 1895), que les phénomènes de résidu peuvent s'expliquer en admettant qu'un diélectrique est comparable à deux condensateurs de capacité C et C′ disposés en cascade à diélectriques sans résidu, mais C′ étant shunté par une résistance ρ très grande. Cette constitution des diélectriques, bien qu'appuyée par d'ingénieuses expériences, ne paraît pas probable pour la plupart d'entre eux, néanmoins il est remarquable que la relation pour w_1 à laquelle cette idée conduit M. Hess puisse être identifiée avec la relation (9) en posant $b = \frac{1}{\rho(C+C')}$, $h = \frac{cC^2}{S(C+C')}$ et négligeant la résistance extérieure au condensateur devant ρ.

---

les quantités b et h ayant les significations indiquées dans le Mémoire. (b est défini par $\frac{dj}{dt} = b(J - j)$ et j par $h = h\Phi$, en appelant J la polarisation réelle finale pour le champ final Φ, quand on maintient constante la différence de potentiel des armatures.)

Ces relations ne sont applicables que si le champ reste assez faible pour que H soit une constante. On a d'ailleurs

$$d\varphi = \frac{1}{c}\,dV = \frac{V_0}{c}\,\frac{2\pi}{T}\cos\frac{2\pi t}{T}, \qquad (7)$$

d'où

$$w_1 = -\frac{BV_0 2\pi}{cT}\int_0^T \sin\left(\frac{2\pi t}{T} + \delta\right)\cos\frac{2\pi t}{T}\,dt = -\frac{V_0 B\pi\sin\delta}{c}, \qquad (8)$$

ou, en remplaçant B et sin δ par leurs valeurs (6),

$$w_1 = \frac{2\pi^2 bhV_0^2 T}{c^2(4\pi^2 + b^2T^2)} = \frac{2\pi^2 bhV_0^2 n}{c^2(4\pi^2n^2 + b^2)}, \qquad (9)$$

en désignant par $n = \frac{1}{T}$ la fréquence.

Telle est la formule qui représente la quantité d'énergie absorbée par période et par unité de volume, quelle que soit la cause de la polarisation, ou, si l'on préfère, du résidu présenté par le diélectrique.

Comme b est pour les bons diélectriques une fraction de l'unité, tandis que $2\pi n$ est un nombre dépassant 100 en général, on voit que b^2 est absolument négligeable devant $4\pi^2n^2$, ce qui réduit pratiquement la formule à

$$w_1 = \frac{bhV_0^2}{2c^2 n}. \qquad (10)$$

d'où, pour l'énergie W_1 transformée en chaleur par unité de volume et de temps :

$$W_1 = \frac{1}{2}\,bh\,\frac{V_0^2}{c^2} = bh\,\varphi_e^2, \qquad (11)$$

φ_e désignant l'intensité efficace du champ.

[1] H. Pellat. *Loc. cit.*

De la transparence de divers liquides pour les oscillations électrostatiques, par **A. de Heen**. *Comptes rendus*, t. CXXX, p. 1460-1461.

L'auteur a montré antérieurement que si l'on met *un* des pôles d'une bobine de Ruhmkorff, muni d'un interrupteur Wehnelt, en communication avec une toile métallique, il se développe des oscillations électrostatiques capables de se transmettre à distance. Il a recherché si la transparence de divers milieux pour ces oscillations est comparable à la transparence observée pour les modes de propagation de l'énergie précédemment connus.

Pour opérer sur les liquides, il prend deux éprouvettes concentriques en verre mince, munies chacune d'un bouchon en verre. Le tube central renferme le tube à vide destiné à déceler l'oscillation; la partie annulaire, ayant environ 5 mm d'épaisseur et comprise entre les deux tubes, est occupée par le liquide à examiner.

Il a trouvé que l'eau, l'alcool éthylique, l'alcool amylique, l'aldéhyde, le sulfure de carbone, le bromure d'éthyle, sont opaques, tandis

que l'éther, le pétrole, la benzine, le xylène, l'acide butyrique et l'acide valérianique, sont transparents. En opérant sur des mélanges d'éther et d'alcool, il a trouvé que la transparence du mélange diminue en même temps qu'augmente la proportion d'alcool et qu'elle devient nulle pour un mélange formé de 175 cm³ d'éther et 75 cm³ d'alcool.

Il a été impossible de trouver une analogie avec la transparence relative aux autres modes de propagation de l'énergie, ni jusqu'à présent avec les autres propriétés physiques. C'est ainsi, par exemple, que l'eau et l'éther sont tous deux électrostatiquement conducteurs, alors que l'un est opaque et l'autre transparent [1].

Sur quelques effets photochimiques produits par le fil radiateur des ondes hertziennes, par **Thomas Tommasina.**

Dans ses expériences de télégraphie hertzienne, l'auteur a eu l'occasion d'entendre des crépitements rythmés tout le long du fil de l'antenne radiatrice ; dans l'obscurité ce phénomène décèle sa nature par une série de flocons ou pinceaux d'aigrettes lumineuses très mobiles, et dont plusieurs semblent se déplacer autour du fil radiateur, aigrettes qui sont très semblables du reste à celles produites par les conducteurs du dispositif de Tesla.

Ces aigrettes paraissent vibrer synchroniquement, non avec les étincelles de l'oscillateur de Righi, mais avec les mouvements du trembleur de la bobine d'induction ; en outre à chaque étincelle de l'oscillateur une très vive onde lumineuse se propageait instantanément sur le fil, indépendamment de l'autre luminescence à aigrettes, laquelle continuait sans aucune modification perceptible son mouvement oscillatoire régulier.

Pour observer de plus près et plus commodément le phénomène, M. Tommasina a intercalé dans le fil d'antenne une double boite, peinte en noir à l'intérieur, munie d'un couvercle fermant hermétiquement, et dans laquelle était tendu près du fond un fil très fin de cuivre. Les extrémités de ce fil sortaient de la boîte par deux trous très étroits et étaient fixées aux serre-fils auxquels arrivaient les bouts du fil radiateur. Sous l'action du flux électrique oscillatoire, il a constaté immédiatement la formation d'une série de secteurs lumineux distribués irrégulièrement, *mais qui se formaient à des distances approximativement égales, lorsque l'oscillateur était réglé à l'unisson avec le trembleur*. En diminuant l'intensité du courant primaire jusqu'à faire presque disparaître la luminescence oscillante, l'effet de chaque étincelle de l'oscillateur devenait très visible par l'apparition instantanée d'une forte luminosité.

M. Tommasina a cherché ensuite à photographier ces phénomènes. Ayant reconnu que la photographie au moyen de l'objectif ne donnait rien, il a eu recours à l'action directe des effluves sur la gélatine sensibilisée des plaques rapides au bromure d'argent, le fil radiateur étant placé entre deux plaques appliquées gélatine contre gélatine et pressées par le poids d'un bloc de bois de noyer. Les épreuves ainsi obtenues lui ont permis de constater que la nature plus ou moins magnétique du métal du fil radiateur ne semble pas avoir un effet perceptible lorsque le fil, étant très peu tendu, ne produit pas en même temps que la luminosité, les phénomènes sonores. Son épaisseur, au contraire, a une influence notable. Plus le fil est mince, plus courtes sont les aigrettes et plus les distances entre elles sont petites.

Il semblerait ainsi, conclut M. Tommasina, que vraiment le fil de l'antenne radiatrice des ondes hertziennes joue le rôle d'une capacité dont toutes les molécules formant sa surface propagent l'une à l'autre le mouvement oscillatoire produit par les décharges. Ce mouvement se propagerait en même temps aux molécules de l'élément ambiant de l'espace, c'est-à-dire de l'éther, suivant des lignes rayonnantes du fil, sur un nombre infiniment grand de plans parallèles entre eux et perpendiculaires à l'axe du fil.

[1] On se souvient que dans une note récente (*Écl. Élect.*, t. XXIII, p. 192, 5 mai 1900), M. de Heen signalait un nouveau phénomène, l'*inductance*. Il semble que l'existence de ce phénomène soit bien problématique, car dans la note qui nous occupe il dit : « Des recherches qui ont suivi notre précédente communication nous portent actuellement à croire que des faits que nous pensions devoir attribuer à une espèce d'*inductance* électrostatique peuvent s'interpréter à l'aide de la théorie connue de l'*influence*. »

Le Gérant : C. NAUD.

Tome XXIII. Samedi 16 Juin 1900. 7e Année. — N° 24

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

L'EXPOSITION UNIVERSELLE

L'ÉLECTRICITÉ A L'EXPOSITION (1)

D'après la classification générale les exposants électriciens sont classés dans l'une des

(1) Sur la demande qui nous en avait été faite par quelques-uns de nos lecteurs nous eussions voulu publier dès l'ouverture de l'Exposition une sorte de guide permettant au visiteur économe de son temps de trouver rapidement les objets ou appareils l'intéressant particulièrement : un plan sur lequel les emplacements des expositions eussent été indiqués par des numéros d'ordre et un index donnant les noms des exposants correspondants à ces numéros eussent rempli ce désiratum. Malheureusement la réalisation de ce projet fut contrariée dès le début de l'Exposition par l'impossibilité de reconnaître exactement les emplacements au milieu des Palais incomplètement terminés, vides d'objets exposés, mais pleins de matériaux de construction. Aujourd'hui, bien que la plupart des exposants aient terminé leurs installations, sa réalisation est encore sinon impossible, du moins très difficile, les échanges d'emplacements entre exposants ou l'attribution à de nouveaux exposants d'emplacements rendus libres par la défection d'anciens, se produisant journellement surtout dans les sections étrangères; il eut donc fallu attendre presque la fin de l'Exposition pour avoir quelques chances d'avoir un plan exact.

D'ailleurs une difficulté d'un autre genre se présentait; elle résulte de l'idée qui a prédominé à la classification des exposants et qui, on le sait, consiste à rapprocher le plus possible le matériel, les procédés de fabrication et les produits fabriqués. L'électricité s'étant répandue dans un grand nombre d'industries, cette méthode de classification conduit nécessairement à l'éparpillement des appareils électriques ; aussi, quoique les exposants électriciens forment officiellement cinq classes constituant le groupe V, en rencontre-t-on dans la plupart des autres groupes, au Champ-de-Mars, à l'Esplanade des Invalides, au Trocadéro, aussi bien que dans l'annexe de Vincennes. Notre plan eût donc dû reproduire toute l'Exposition.

Enfin un certain nombre d'industries, comme celles des moteurs thermiques et hydrauliques, du caoutchouc, de l'acétylène, etc., se rattachant à l'électricité, il eut été utile d'indiquer leurs emplacements. L'appréciation de l'opportunité de cette indication n'étant pas possible qu'après examen détaillé des objets exposés, notre plan eût été nécessairement incomplet.

Pour ces raisons nous nous sommes trouvé dans l'obligation de prendre une demi-mesure et de publier seulement les deux plans ci-joints (pages 394 et 395) qui indiquent les emplacements des classes du groupe V en les accompagnant de quelques remarques sur la classification. Avec l'aide du catalogue officiel qui vient d'être publié, les électriciens pourront, nous l'espérons du moins, se diriger facilement à travers les expositions du Palais de l'Électricité.

**

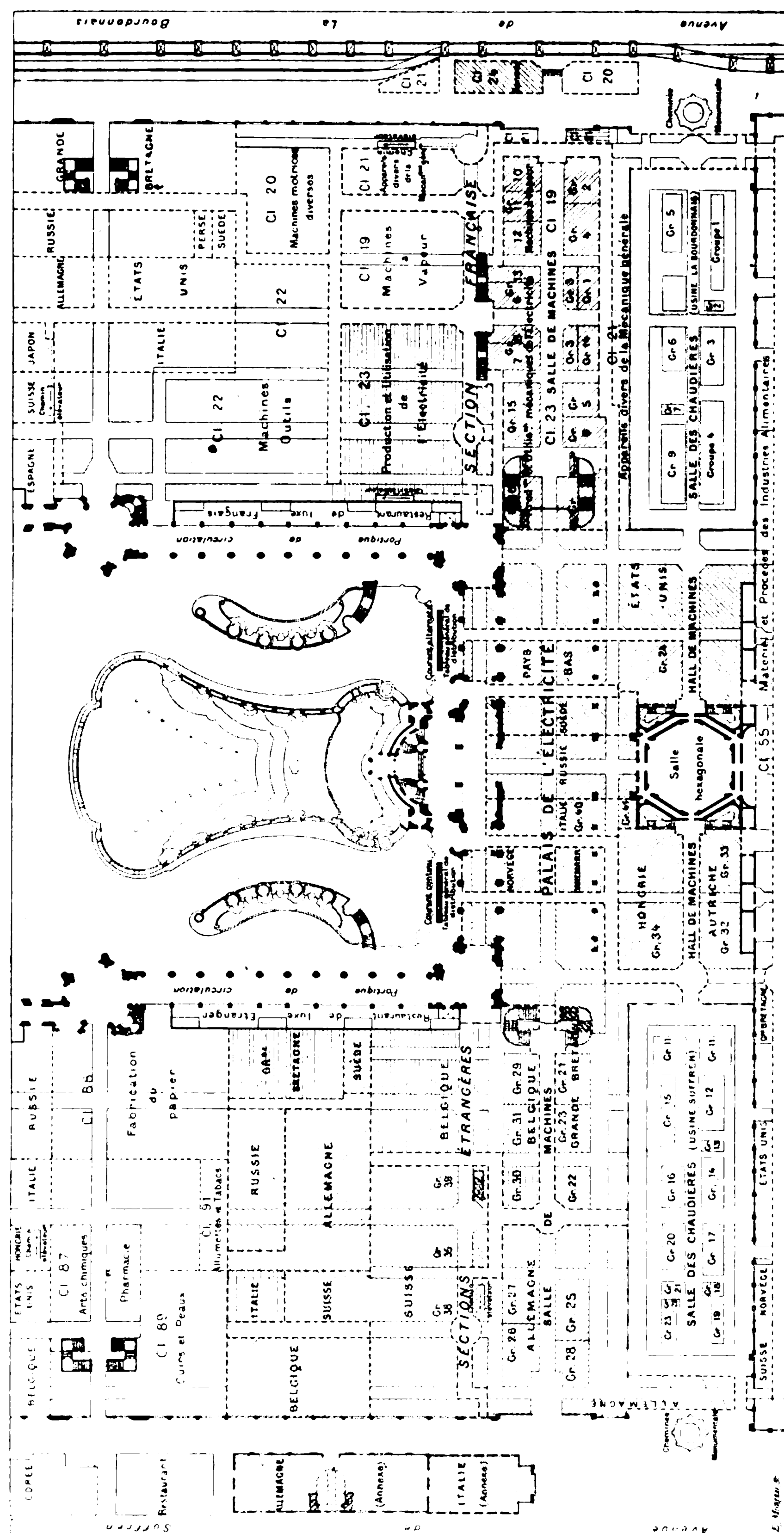


Fig. 1. — Plan du rez-de-chaussée du Palais de l'Électricité et des palais attenants.

Fig. 2. — Plan du premier étage du Palais de l'Electricité et des palais attenants.

cinq classes 23 à 27 dont l'ensemble forme le groupe V (Électricité). Chacune de ces classes est divisée comme il est indiqué ci-dessous :

Classe 23. *Production et utilisation mécanique de l'électricité.* — Appareils générateurs de courants. Dynamos à courants continus, à courants alternatifs, à courants polyphasés. — Transmission de l'énergie à distance. Moteurs à courants continus, à courants alternatifs, à champs tournants. — Modifications des courants. Dynamos de transformation. Transformateurs de courants alternatifs. — Applications aux transports : locomotives électriques; tramways électriques. — Applications mécaniques diverses : ascenseurs, treuils, grues, cabestans, ponts roulants, machines-outils, touage magnétique. — Canalisations spéciales. — Appareils de sûreté et de réglage.

Classe 24. *Électrochimie.* — Piles. — Accumulateurs. — Matériel et procédés généraux de la galvanoplastie. Dépôts métalliques. — Production et affinage des métaux ou alliages. — Applications à la chimie industrielle : blanchiment ; désinfection des eaux d'égoût ; traitement des jus sucrés ; fabrication de la soude, du chlore, du chlorate de potasse, etc.

Classe 25. *Éclairage électrique.* — Emploi des courants continus ou alternatifs. — Lampes à arc. Régulateurs. Charbons pour lumière. — Lampes à incandescence. Installations particulières : ateliers, administrations publiques et habitations privées. — Stations centrales. — Applications aux phares, à la navigation, à l'art militaire, aux travaux publics. — Appareils de sûreté et de réglage. Compteurs. — Photométrie. Appareils pour déterminer la puissance des foyers, la distribution de lumière et l'éclairement. — Appareillage électrique spécial : lustres, candélabres, appliques, supports, etc.

Classe 26. *Télégraphie et téléphonie.* — Appareils télégraphiques expéditeurs et récepteurs. — Appareils multiples. — Transmissions simultanées et récepteurs. — Organes divers. Relais, rappels, paratonnerres. — Transmission de la parole. Téléphones et microphones. — Bureaux centraux, appels, annonciateurs, télégraphie et téléphonie simultanées. Canalisations pour télégraphes et téléphones, fils aériens, câbles souterrains et sous-marins.

Classe 27. *Applications diverses de l'électricité.* — Appareils scientifiques et instruments de mesure. — Electricité médicale. — Horlogerie électrique. — Applications aux chemins de fer, aux mines et aux travaux publics. Signaux. Exploseurs. — Indicateurs et enregistreurs à distance pour des phénomènes de toute nature. — Fours électriques. — Soudure électrique. — Appareils de chauffage par l'électricité.

Les exposants de ces classes occupent le Palais de l'Électricité, les extrémités sud des Palais Suffren, La Bourdonnais et les galeries reliant le Palais de l'Électricité au Palais de l'Alimentation, et quelques annexes. Au rez-de-chaussée se trouvent les machines lourdes et encombrantes, en particulier les groupes électrogènesqui occupent deux bâtiments de 30 m de large dénommés usine La Bourdonnais et usine Suffren.

Les exposants français sont en général placés du côté de l'avenue La Bourdonnais, les exposants étrangers du côté de l'avenue Suffren ; les premiers sont groupés suivant la classe à laquelle ils appartiennent, les seconds sont groupés par nationalités, quelle que soit la classe du groupe V de laquelle ils dépendent.

Parmi les autres groupes et classes qui intéressent les électriciens signalons :

1° Le groupe IV (*Matériel et procédés généraux de la Mécanique*) qui comprend les classes 19 (Machines à vapeur), 20 (Machines motrices diverses), 21 (Appareils divers de la mécanique générale) et 22 (Machines-outils). Les machines et objets ressortissant de ce groupe occupent le rez-de-chaussée du Palais de l'Électricité et les portions voisines des Palais La Bourdonnais et Suffren; les moteurs à pétrole en fonctionnement se trouvent à l'annexe de Vincennes.

2° Le GROUPE VI (*Génie civil. Moyens de transports*) qui occupe une partie du Palais Suffren, et la majeure partie de l'annexe de Vincennes.

3° Le GROUPE IX (*Forêts, chasses*, etc.) où, dans la classe 54, se trouve l'industrie du caoutchouc et de la gutta percha (que l'on rencontre encore dans la classe 98 du groupe XV); cette exposition est située dans le Palais édifié au bord de la Seine en aval du pont d'Iéna.

4° Le GROUPE XI (*Mines, métallurgie*) dont l'emplacement est dans le Palais La Bourdonnais, près de la Tour Eiffel.

5° Le GROUPE XII (*Décoration et mobilier des édifices publics et habitations*) où nous trouvons, dans un pavillon situé quai d'Orsay, les appareils de chauffage par l'électricité.

6° Le GROUPE XIV (*Arts chimiques et Pharmacie*) occupant la partie centrale du Palais Suffren, où la classification prévoit l'exposition de fours électriques et d'appareils électrolyse.

7° Le GROUPE XVIII (*Armées de Terre et de Mer*) installé dans un Palais édifié au quai d'Orsay et où sont exposées les applications de l'électricité à la guerre et à la marine.

TELEGRAPHONE POULSEN (1)

Le Télégraphone, que l'inventeur appelle aussi Magnéto-téléphonographe, permet, comme le phonographe, l'inscription et la reproduction de la parole, mais tandis que le phonographe ne peut enregistrer directement que les sons émis dans le voisinage immédiat de l'appareil et ne peut les transmettre en un autre endroit, le télégraphone peut être placé à une distance quelconque du lieu d'émission et du lieu de reproduction. Le télégraphone diffère d'ailleurs encore du phonographe par le principe de son fonctionnement, principe nouveau et original qui fait du télégraphone un des appareils les plus intéressants que nous ayons rencontré dans nos visites à l'Exposition et qui semble devoir assurer à cet appareil de nombreuses et importantes applications dans le domaine de la téléphonie et aussi celui de la télégraphie.

PRINCIPE DU TÉLÉGRAPHONE. — Les paroles qu'il s'agit d'enregistrer sont prononcées devant un transmetteur téléphonique ; les courants qui en résultent sont amenés par les fils de ligne à un petit électro-aimant entre les pôles duquel glisse un fil d'acier; le champ magnétique variable ainsi développé entre les pôles de l'électro-aimant produit une aimantation du fil variant avec le champ ; chaque point du fil ou ruban possède donc après le passage entre les pôles une aimantation transversale dont l'intensité dépend de l'intensité du courant téléphonique qui lui a donné naissance ; les paroles se trouvent alors inscrites sur le fil.

Si maintenant on relie l'électro-aimant à un récepteur téléphonique, puis qu'on fasse de nouveau glisser le fil dans le même sens et avec la même vitesse que pendant l'inscription, les noyaux de l'électro-aimant subiront une série de variations dans leur aimantation, des courants induits prendront naissance dans les bobines et la membrane du récepteur téléphonique entrera en vibration, reproduisant les paroles prononcées devant l'appareil transmetteur.

L'inscription et la reproduction des sons s'effectuent donc au moyen d'actions magnétiques. Celles-ci s'exerçant à distance, les bruits parasites auxquels donne lieu le

---

(1) Exposé par la société anonyme « Telegrafonen Patent Poulsen », de Copenhague, dans la section néerlandaise, partie centrale du rez-de-chaussée du Palais de l'Électricité.

phonographe et qui sont dûs aux frottements mécaniques des pièces de cet appareil, ne peuvent se produire dans le télégraphone. La reproduction de la parole doit donc être, et est en effet, extrêmement nette et complètement dépourvue de ce timbre métallique si désagréable que donne le phonographe. De plus il est à prévoir que le nombre des reproductions doit être en quelque sorte illimité, aucune altération mécanique de l'inscription ne pouvant se produire ; c'est ce qu'a vérifié M. Poulsen qui n'a pu constater d'affaiblissement notable dans l'intensité sonore après 1 200 reproductions.

Ajoutons que pour « effacer » l'inscription magnétique, rien n'est plus simple. Il suffit d'envoyer dans l'électro-aimant un courant continu d'intensité convenable et de faire glisser le fil entre ces pôles : ce fil se trouve ainsi uniformément aimanté et il est alors prêt à recevoir une nouvelle inscription.

Description du télégraphone. — Dans l'appareil présenté à l'Exposition, le fil d'acier destiné à inscrire les courants téléphoniques a un diamètre de 1 mm et une longuer d'environ 120 m ; il est enroulé sur un tambour horizontal de 25 cm de longueur et de 10 cm de diamètre mis en mouvement avec une vitesse angulaire de 120 tours : minute par un petit moteur électrique. L'électro-aimant est fixé sur une monture coulissant le long d'une règle disposée parallèlement aux génératrices du tambour ; il est légèrement pressé contre le fil et cette pression suffit pour que l'électro-aimant se trouve entraîné par le fil le long de la règle. L'appareil est complété par un transmetteur et un récepteur téléphoniques placés dans une cabine et que l'on met successivement en communication avec l'électro-aimant suivant que l'on veut enregistrer ou reproduire la parole.

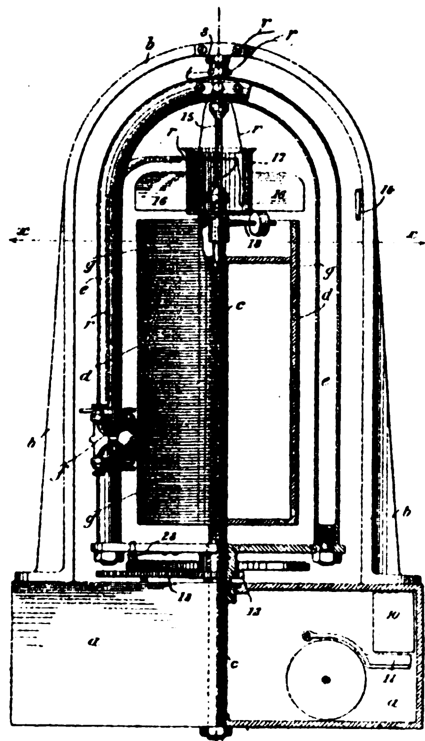


Fig. 1. — Modèle pour inscription de faible durée.

Cet appareil n'est d'ailleurs qu'un modèle de démonstration destiné principalement à faire saisir le principe de l'invention et faire pressentir les applications auxquelles il peut se prêter. Il nous paraît donc inutile d'en donner une description plus complète et nous préférons décrire en détail deux autres modèles récemment brevetés par l'inventeur [1] et qui présentent plusieurs dispositions ingénieuses. L'un de ces modèles est destiné à l'inscription des messages téléphoniques dont la durée est d'au plus 1 ou 2 minutes, l'autre à l'inscription de messages de plus longue durée.

1° *Modèle pour inscriptions de courte durée.* — Le modèle dont la figure 1 donne une élévation et dont les figures 2 à 6 montrent le détail de diverses parties, se compose : d'un socle creux *a* portant un étrier *b* ; d'un arbre *c* fixe portant un cylindre *d*, également fixe, sur lequel est enroulé le fil d'acier *g* ; d'un tube creux *e* en forme de fer à cheval, tournant autour de l'axe *c* au moyen d'un mouvement d'horlogerie contenu dans le socle de l'appareil ; enfin d'un chariot *f* mobile le long d'une des branches du tube *e* et qui porte l'électro-aimant inscripteur.

[1] Brevet anglais n° 8961, déposé le 28 avril 1899, accepté le 17 mars 1900.

La mise en marche du mouvement d'horlogerie est commandée par l'électro-aimant 10 (fig. 1) dont l'armature 11 fait frein sur une roue du mouvement tant que l'électro-aimant n'est pas excité. Le mouvement de rotation est transmis au cadre *e* par l'intermédiaire de la roue 13 et du pignon 12 calé sur un arbre creux entourant l'arbre fixe *c*.

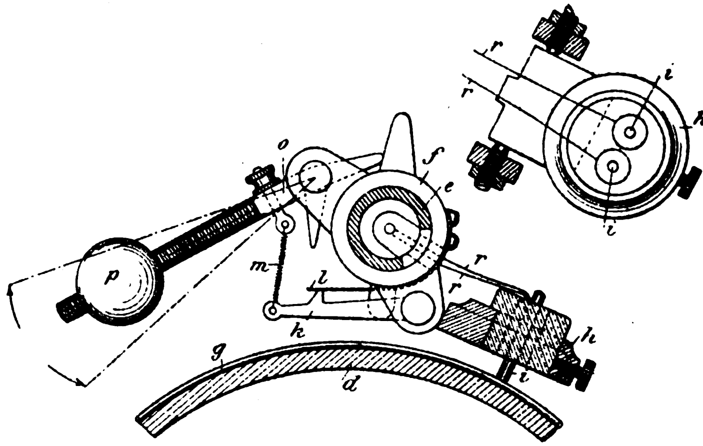


Fig. 2 et 3. — Détails du porte électro-aimant et de l'électro-aimant.

Dès que l'appareil est mis en mouvement, les pôles de l'électro-aimant qui, au repos ne touchent pas le fil, sont mis automatiquement en contact avec celui-ci. Dans ce but, au chariot *f* (fig. 2) qui porte l'électro-aimant est articulée une tige filetée *o* munie d'une petite sphère *f* qui, sous l'effet de la force centrifuge, tend à s'éloigner de l'axe de rotation. Le chariot ne pouvant tourner autour de la monture *e*, une goupille fixée au chariot et pénétrant dans une rainure de la monture *e* s'opposant à ce mouvement, la tige *o* pivote et, par l'intermédiaire du ressort *m* et du levier *k*, applique les noyaux *i* de l'électro-aimant *h* sur le fil *g*.

Les extrémités de ces noyaux étant taillées de façon à bien embrasser le fil, l'électro-aimant se trouve guidé par ce fil et prend un mouvement hélicoïdal le long du fil en même temps que le chariot, primitivement à la partie inférieure du cadre mobile *e*, monte le long du cadre.

La constance de la vitesse angulaire du mouvement de rotation se trouve assurée de diverses manières. D'une part quand la vitesse tend à augmenter, la force centrifuge agissant sur la boule *p* tend à presser plus fortement contre le fil les noyaux de l'électro-aimant et par conséquent à augmenter le frottement s'opposant au mouvement. D'autre part la monture mobile *e* entraine, au moyen d'un accouplement élastique constitué par des fils flexibles 15 (fig. 4), un cylindre 17 reposant par une crapaudine sur la pointe de l'arbre fixe *c*; ce cylindre porte deux ailettes 16 (fig. 1) dont le frottement contre l'air ralentit son mouvement; il porte en outre, pivotés sur son fond inférieur, deux leviers munis de rondelles pesantes 18 (fig. 4) qui sous l'effet de la force centrifuge appliquent contre l'arbre fixe deux ressorts fixés aux leviers et donnent lieu ainsi à un frottement résistant d'autant plus grand que la vitesse de rotation est plus grande.

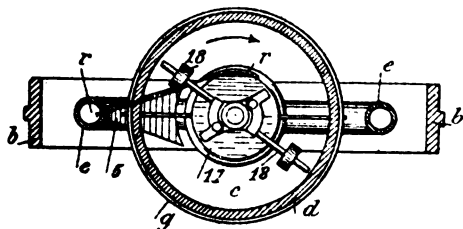


Fig. 4. — Dispositif de freinage. (Coupe suivant le plan *xx* de la figure 1).

Pour arrêter l'appareil automatiquement quand toute la longueur du fil a été parcourue par l'électro-aimant, un taquet 14 (fig. 1) est disposé à la partie supérieure de la monture fixe *h* : lorsque le chariot *f* vient, par suite de son mouvement ascensionnel, rencontrer le taquet, celui-ci coupe, par un dispositif qui sera décrit plus loin, le circuit de l'électro-aimant 10 et l'armature 11 de cet électro arrête le mouvement d'horlogerie.

Dès que le mouvement de rotation a cessé, les pôles de l'électro-aimant sont éloignés du fil par l'effet du ressort l (fig. 2); par suite le chariot tend à descendre par son poids le long de la monture e et à revenir à sa position initiale. Sa descente est d'ailleurs régularisée par le cylindre d portant les ailettes 16 et les freins centrifuges 18. Pendant le mouvement de l'appareil ce cylindre tend en effet à tourner moins vite que le cadre mobile e qui l'entraîne, en raison même des dispositifs de freinage dont il est muni; par suite les fils 15 qui le relient au cadre s'enroulent jusqu'à ce que le couple dû à cette torsion fasse équilibre au couple des efforts retardateurs et il en résulte un mouvement relatif du cylindre par rapport au cadre; les fils souples r qui relient l'électro-aimant à la ligne téléphonique en passant dans le tube 5 et qui sont fixés à une de leurs extrémités sur le cylindre s'enroulent donc sur celui-ci pendant la marche de l'appareil. Au moment de l'arrêt, le chariot qui porte l'électro-aimant se trouve ainsi suspendu par ces fils et il ne peut descendre qu'en faisant tourner le cylindre; par conséquent la chute du chariot peut être régularisée par les dispositifs de freinage du cylindre.

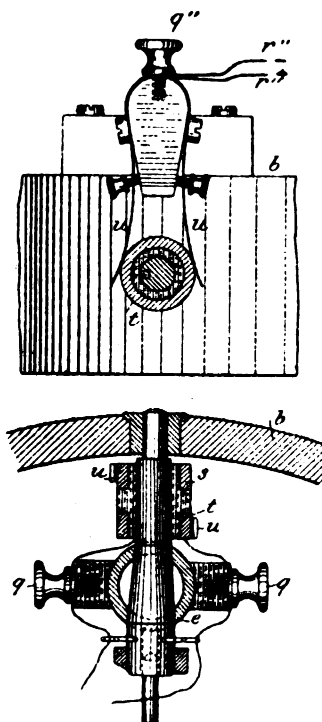


Fig. 5 et 6. — Attaches des fils.

Les fils conducteurs r dont il vient d'être question sont reliés par des fils r (fig. 1) à deux bornes isolées q portées par le cadre e, bornes reliées elles-mêmes à deux bagues s et t (fig. 6) contre lesquelles s'appuient deux balais u et v les faisant communiquer respectivement à deux autres bornes q'' (fig. 5); à ces dernières bornes sont attachés les fils téléphoniques r''.

La figure 7 montre l'adaptation d'un telégraphone de ce modèle à un poste téléphonique, non dans le but d'enregistrer les messages envoyés à l'abonné de ce poste, le fil n'étant pas assez long pour cela, mais dans le but de transmettre au poste appelant une courte phrase telle que « je suis absent et ne rentrerai que vers 5 heures. » La figure 8 donne le schéma des connexions permettant à l'appareil de remplir ce but.

Des deux fils de ligne aboutissant au poste, l'un 35 est relié directement à l'appareil téléphonique par le fil 36, tandis que l'autre 40 est fixé à deux des plots d'un commutateur 19 à trois directions. Quand ce commutateur est dans la position indiquée par la figure 8 le fil 40 est mis en communication avec l'appareil téléphonique par les plots 39 et 38 et le fil 37, et le télégraphone est mis hors-circuit Si l'on tourne le commutateur de manière à le placer dans sa position moyenne, on rompt le circuit de ligne et on met en circuit avec le microphone du poste téléphonique l'un des enroulements d'une bobine d'induction R dont l'autre enroulement (à gros fil) est relié au télégraphone; c'est la position qui convient lorsque l'abonné veut enregistrer sur le télégraphone de son poste la réponse qu'il se propose de faire aux correspondants qui l'appelleront ultérieurement. Enfin si l'on met le commutateur dans la troisième position, l'enroulement à fil fin de la bobine R se trouve mis en circuit avec la ligne tandis que le poste téléphonique se trouve mis hors-circuit; c'est la position que doit lui donner l'abonné du poste lorsqu'il s'absente.

Examinons successivement le fonctionnement du télégraphone quand le commutateur est dans la seconde et la troisième position.

Pour la seconde position le microphone du poste téléphonique est, avons-nous dit,

isolé de la ligne et en circuit avec l'enroulement à fil fin de la bobine R. Par conséquent si l'abonné presse sur le bouton d'appel, le courant ne pourra actionner les appareils du bureau central mais traversera l'enroulement primaire de la bobine et développera dans l'enroulement secondaire un courant induit qui, par le circuit 20, 21, 22, 23, 24, 25 excitera l'électro-aimant 22; l'armature 27 sera attirée, le levier 41 s'abaissera et fermera en

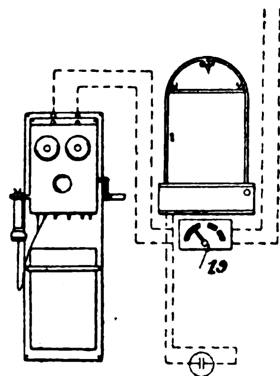


Fig. 7. — Poste téléphonique avec télégraphone.

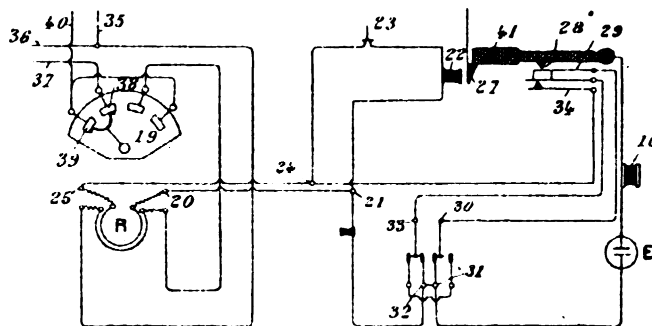


Fig. 8. — Schéma des connexions d'un poste.

28, 29 le circuit 28, 29, 30, 31, E, 10, contenant la pile E et l'électro-aimant 10 commandant la mise en marche de l'appareil; en même temps il fermera le circuit 20, 21, 32, 33, 34, 35 qui contient l'électro-aimant *i* du télégraphone. Par conséquent l'appareil se trouve ainsi mis en marche et les connexions se trouvent établies pour que lorsqu'on parle devant le microphone les sons soient enregistrées. Toutefois il faut encore, pour que les courants induits qui doivent exciter l'électro-aimant *i*, ne se dérivent pas dans le circuit 20, 21, 22, 23, 24, 25, que ce dernier circuit soit rompu; c'est ce qui a lieu par l'interrupteur 23 qui, comme on le voit sur la figure 1, est constitué par un bouton métallique réunissant deux fils circulaires tant qu'il est pressé par le chariot et qui par conséquent coupe le circuit dès que le chariot commence à monter. Lorsque ce chariot est arrivé au haut de sa course il rencontre, comme nous l'avons dit précédemment le taquet 14 et celui-ci relève alors au moyen d'une cordelette, le levier 41, que le ressort 17 maintient dans cette nouvelle position; le contact 28, 29 se trouvant ainsi rompu, l'électro-aimant de mise en marche 10 cesse d'être excité et son armature arrête le mouvement d'horlogerie; le chariot retombe et presse sur le bouton 23 qui referme le circuit 20, 21, 22, 23, 24, 25, la forme circulaire donnée aux extrémités des fils 22, 23, et 23, 24 que ce bouton est chargé de réunir, assurant la fermeture que soit l'azimuth du cadre mobile au moment de son arrêt.

Quand le commutateur est placé dans la troisième position, le courant d'appel, lancé par un correspondant voulant entrer en conversation avec l'abonné du poste qui nous occupe, traverse l'enroulement primaire de la bobine R et par conséquent produit, comme il vient d'être expliqué, le mouvement du télégraphone. Les courants induits développés dans l'électro-aimant *i* circulent alors dans l'enroulement à gros fil de la bobine R et induisent à leur tour des courants qui vont actionner le récepteur du correspondant et reproduisent la phrase inscrite sur le télégraphone.

Une dernière opération est encore nécessaire : l'effaçage de l'inscription. Pour cela on amène au moyen d'une clef les fils 30 et 33 en communication avec les plots extrêmes du commutateur figuré au-dessous de ces fils, puis on met en marche le télégraphone en met-

tant le levier du commutateur 19 dans sa position médiane et pressant sur le bouton d'appel. Le courant de la pile E suit alors le circuit 10, 28, 29, 30, 33, 34, 24, 25, 20, *i*, 32, 31 E; l'électro-aimant *i* se trouve ainsi traversé par un courant continu qui communique au fil une aimantation uniforme.

2° *Modèle pour inscriptions de longue durée.* — Dans ce modèle le fil est remplacé par un ruban qui se déroule d'un tambour et s'enroule sur un second tambour en passant entre pôles de l'électro-aimant inscripteur qui est alors fixe ; la longueur de fil dépend nécessairement de la longueur du message que l'on veut enregistrer.

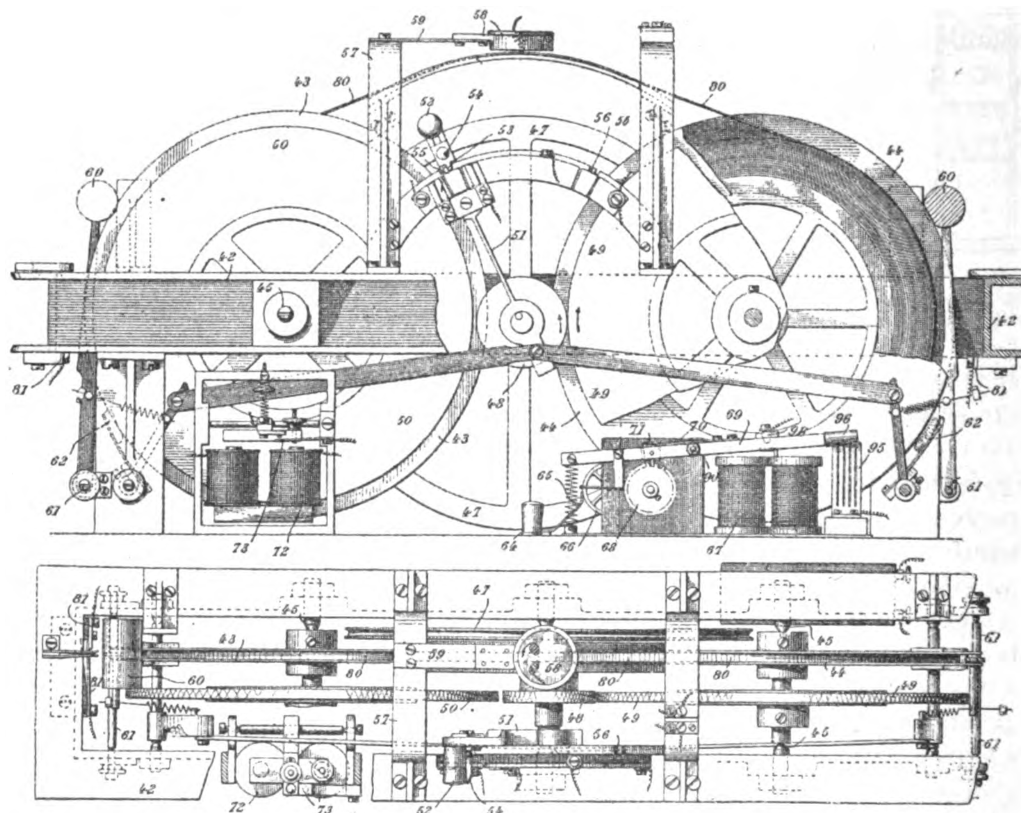


Fig. 9 et 10. — Modèle pour inscriptions de longue durée. — Élévation et vue en plan.

Les figures 9 et 10 donnent une élévation et une vue en plan de ce modèle ; les figures 11 à 16 représentent plusieurs détails.

L'électro-aimant inscripteur 58 est porté par un ressort 59 fixé à un étrier 57 assujetti sur le bâti rectangulaire 42. Le ruban est enroulé sur les tambours 43 et 44 maintenus par les pivots 45. Le mouvement des tambours est obtenu au moyen d'un petit moteur électrique actionnant par une courroie la poulie à gorge 47 sur l'axe de laquelle est monté un galet entraînant par frottement l'une des roues 49 ou 50 montées sur les axes des tambours 44 et 43. Le contact du galet avec l'une ou l'autre de ces roues est obtenu en déplaçant légèrement l'axe de la poulie motrice au moyen d'un excentrique commandé par le levier 51 portant une manette 52 servant à le mouvoir, et une pièce 55 munie d'un doigt 53 servant à le fixer en face des encoches 55 ou 56. Mais comme pour l'enroulement du ruban sur l'un ou l'autre tambour, la roue 49 doit tourner dans le sens des aiguilles d'une montre tandis que la roue 50 doit tourner dans le sens opposé, le déplacement du galet 48 ne suffit pas pour

produire le mouvement voulu de ces roues ; il faut encore changer le sens de rotation de ce galet. Pour cela le levier 51 porte deux ressorts isolés reliés au moteur et appuyant sur des segments métalliques placés derrière le levier ; ces segments sont au nombre de trois et celui du milieu est relié à l'un des pôles de la source d'électricité alimenta nt le moteur tandis que les deux extrêmes sont reliés à l'autre pôle ; de la sorte quand on fait passer le levier 52 de la position représentée par la figure 9 à la position symétrique de celle-ci par rapport à la verticale, le courant se trouve renversé dans le moteur et le sens du mouvement du galet 48 se trouve par suite changé.

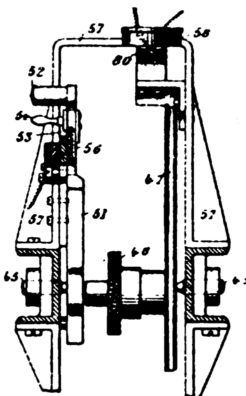


Fig. 11. — Détail.

L'arrêt de l'appareil s'effectue automatiquement quand le ruban a presque entièrement passé devant l'électro-aimant. Dans ce but un cylindre 60, fixé à l'extrémité d'un levier pivoté en 61, est appliqué au moyen de ressorts contre chacun des tambours ; dès que les spires du ruban forment une épaisseur plus grande que la profondeur de la rainure où elles s'enroulent, le cylindre est repoussé, le levier qui le porte vient presser un ressort 81 placé derrière lui et le circuit d'alimentation du moteur se trouve ainsi rompu. Pour empêcher qu'au moment de l'arrêt du tambour meneur, le tambour mené continue à tourner par l'effet de la vitesse acquise, un frein 62, commandé par le levier de changement de marche 51, appuie constamment sur le tambour mené.

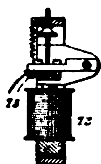


Fig. 12. — Relais de mise en marche.

L'appareil comprend encore deux autres organes : un relais 72 (fig. 9, 10 et 12) et un conjoncteur électromagnétique 67, 96 avec mouvement d'horlogerie 68 (fig. 9, 13, 14 et 15). Ces deux organes ont pour but de permettre la mise en marche de l'appareil par un courant électrique envoyé d'un autre poste et de maintenir cette marche pendant un certain temps, par exemple trois minutes, durée ordinaire d'une conversation téléphonique. Pour cela le courant du poste téléphonique appelant traverse la bobine 72 de l'électro-aimant du relais et son armature ferme un circuit local dans lequel est intercalé l'électro-aimant 67 du conjoncteur ; l'armature 69 de cet électro-aimant, pivotée en 90, est alors attirée et cette attraction amène la pièce métallique 96 de cette armature entre les balais 95, fermant ainsi le circuit du moteur électrique qui commande l'appareil. Celui-ci se trouve alors mis en marche, mais comme le mouvement de l'armature 69 coupe le circuit de son électro-aimant 67 il faut qu'un dispositif mécanique maintienne l'armature dans sa nouvelle position malgré le ressort, visible sur la figure 9, qui tend à la ramener dans sa position primitive ; c'est ce que fait la roue dentée 68, montée sur le mouvement d'horlogerie et sur laquelle un ressort 70 appuie un cliquet 71 pivoté sur l'armature 69 : tant que cette armature est éloignée du noyau de l'électro-aimant qui la commande le cliquet 71 appuie sur le fond d'un des encoches de la roue 68 (fig. 14) ; mais dès que l'armature est attirée, la roue, dégagée, se met à tourner et maintient l'armature dans sa nouvelle position (fig. 15) pendant tout le temps qu'une dent de la roue reste au-dessous du cliquet. Au bout de ce temps, l'armature s'éloigne de l'électro-aimant sous l'action du ressort dont il a été question et le circuit d'alimentation du moteur se trouve rompu. On peut d'ailleurs laisser ce circuit fermé aussi longtemps qu'on le veut en

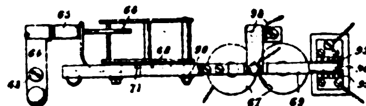


Fig. 13. — Conjoncteur électromagnétique ; vue en plan.

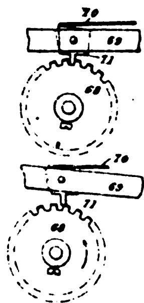


Fig. 14 et 15. — Détails du conjoncteur.

arrêtant le mouvement d'horlogerie pendant que le cliquet 71 est maintenu par la roue 68 de ce mouvement; pour cela, il suffit de déplacer de droite à gauche le bouton du levier 64 (fig. 13), pivoté en 63 et portant une lame 65 qui arrête la roue d'échappement 66 du mouvement.

Voyons maintenant comment on utilise l'appareil dans un poste téléphonique pour enregistrer automatiquement les messages téléphoniques envoyés à ce poste. Le schéma des connexions représenté par la figure 16 montre que l'on a encore le commutateur à trois directions 19 et la bobine d'induction R dont il a été question à propos du modèle pour inscriptions de faible durée. Par conséquent quand ce commutateur est disposé de façon à réunir les deux plots extrêmes de droite l'enroulement à fil fin de la bobine d'induction se trouve en circuit avec la ligne téléphonique 35, 40 et le le courant d'appel envoyé au poste téléphonique considéré induira dans l'enroulement à gros fil des courants qui, par le circuit 20, 21, 91, 92, 24, 25 feront fonctionner le relais 72; une dérivation 93, 73, 67, 94 prise sur le circuit d'alimentation du moteur se trouvera fermée et l'armature 69, attirée par l'électro-aimant 67, fermera en 96, 95, le circuit du moteur 97, en même temps qu'elle supprimera, par un dispositif mécanique non figuré, le contact 73. L'appareil se mettra donc en marche et le ruban 80 pourra enregistrer les courants induits dans R par les courants téléphoniques et amenés à l'électro-aimant 58 par le circuit 21, 91, 58, 99, 98, 100, 92, 24 que l'armature 69 a fermé en 98 au moment de son attraction [1]. Des connexions non figurées sur le diagramme mais faciles à imaginer permettent d'ailleurs de faire passer dans l'électro-aimant inscripteur un courant continu pour effacer l'inscription reçue [2].

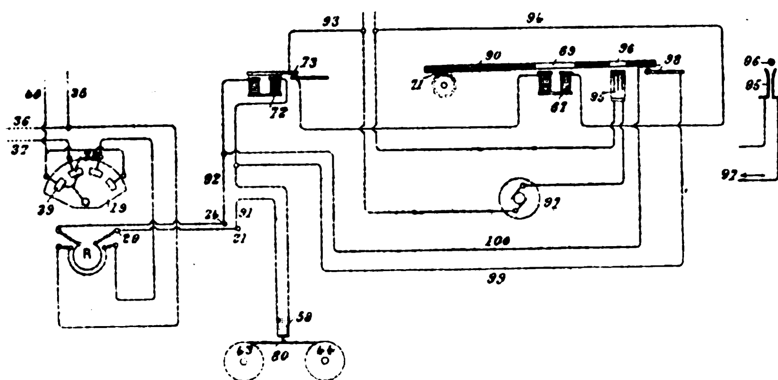


Fig. 16. — Schéma des connexions d'un poste téléphonique avec télégraphone.

Applications diverses du télégraphone. — Le télégraphone paraît se prêter, avons-nous dit en débutant, à de multiples applications dans le domaine de la téléphonie. Nous

---

(1) Contrairement à ce qui avait lieu avec le premier modèle, les courants qui traversent l'électro-aimant inscripteur peuvent passer dans la dérivation 91, 72, 92 contenant le relais commandant la mise en marche; il faut par suite donner aux bobines de ce relais une résistance considérable par rapport à celle des bobines de l'électro-aimant inscripteur pour que l'intensité de ces courants traversant ces dernières reste de l'ordre de grandeur des courants induits en R.

(2) Ajoutons que le modèle que nous venons de décrire peut être employé concurremment avec le premier modèle. Les deux appareils sont alors reliés aux bornes 21 et 24, et leur utilisation se fait de la manière suivante : avant de s'absenter, l'abonné du poste place la manette du commutateur 19 dans sa position médiane, met en mouvement le petit appareil et prononce devant son microphone une phrase, telle que celle-ci : « Je m'absente pendant quelque temps mais vous pouvez cependant me transmettre ce que vous aviez à me dire, mon appareil enregistreur étant en circuit. » Cela fait, l'abonné n'a plus qu'à pousser le commutateur dans la position extrême de droite pour que les deux télégraphones soient mis en marche par l'appel d'un correspondant quelconque. Le télégraphone petit modèle transmettra alors à l'appelant la phrase qui y a été enregistrée, puis l'appelant, se conformant à cette réponse, transmettra son message qui sera enregistré par l'appareil grand modèle, le petit appareil restant en repos, le courants ondulatoires résultant de cette transmission étant de trop faible intensité pour le mettre en marche.

venons d'en signaler quelques-unes à l'occasion de la description de l'appareil ; quelques autres non moins intéressantes nous sont indiquées par un rapport qu'écrivait il y a quelques semaines M. Marinovitch à son retour d'un voyage à Berlin fait spécialement en vue d'étudier le télégraphone Poulsen. Examinons-les successivement.

1° *Renforcement des sons téléphoniques.* — Les sons reproduits par le télégraphone ont une intensité de l'ordre de grandeur des sons donnés par les récepteurs téléphoniques. Pour certaines applications on peut désirer avoir des sons plus intenses. Trois dispositifs imaginés par M. Poulsen permettent d'obtenir ce résultat.

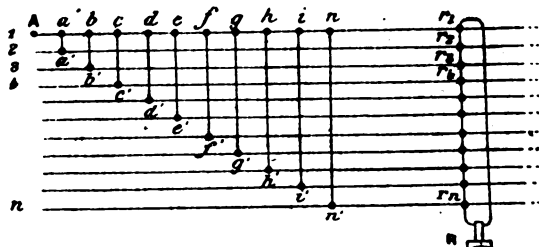


Fig. 17. — Premier dispositif de renforcement des sons.

Le premier dispositif consiste à prendre une série de n fils parallèles (fig. 17) animés d'un mouvement de translation entre les pôles des électro-aimants A, a, a', b, b', ..., n, n' et r_1, r_2, r_3 ..., r_n. L'électro-aimant A fait partie d'un circuit contenant le microphone devant lequel on parle ; les électro-aimants a, a',..., n, n' sont groupés en tension deux à deux ; les électro-aimants r_1,..., r_n, sont reliés en série avec un récepteur téléphonique R. L'impression magnétique produite en un point du fil 1 par l'électro-aimant A, passe successivement devant les électro-aimants a, b, c, ..., n et induit dans leurs bobines des courants qui, par les électro-aimants correspondants a', b', n', produisent des impressions magnétiques sur les fils 2, 3, ..., n. Toutes ces impressions ou taches magnétiques arrivent en même temps devant les électro-aimants r_1, r_2, ..., r_n et induisent dans leurs bobines des forces électromotrices qui s'ajoutent pour mettre en action le récepteur téléphonique. Le son se trouvera donc renforcé [1].

Le second dispositif ne comporte que deux fils (fig. 18) glissant entre les pôles de l'électro-aimant inscripteur A et des électro-aimants a, a', b, b',..., n, n' reliés deux à deux en série. Chaque tranche magnétique produite par A donne, en passant devant les électro-aimants a, b, ..., n, des courants induits qui, par l'intermédiaire des électro-aimants correspondants a', b', ..., n', modifient l'aimantation d'une *même* tranche du second fil. L'aimantation de cette tranche subit ainsi une variation plus grande que la variation produite dans l'autre fil par A ; par conséquent lorsque le second fil passera devant les pôles de l'électro-aimant reproducteur il donnera un son plus intense que celui obtenu avec l'emploi d'un seul fil.

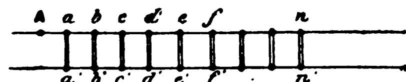


Fig. 18. — Second dispositif de renforcement des sons.

Quant au troisième dispositif il est basé sur un autre principe : augmentation de la force électromotrice des courants induits dans l'électro-aimant reproducteur en augmentant la vitesse de déplacement du fil. On peut obtenir ainsi un renforcement considérable ; ainsi en donnant au fil une vitesse linéaire de 30 m : sec environ un son émis à voix basse devant le transmetteur microphonique est reproduit par le récepteur téléphonique avec une intensité si grande qu'il est alors désagréable de tenir le récepteur collé à l'oreille.

---

[1] Si l'on admet qu'un son d'intensité 1 émis devant le microphone donne, par reproduction avec un télégraphone à un seul fil, à un son d'intensité $\frac{1}{k}$, il est évident qu'il suffira d'un nombre de fils égal à k^2 pour que le son soit donné par le récepteur R ait la même intensité que le son transmis.

2° *Relais et multiplicateur téléphonique.* — Ce procédé de renforcement des sons donne immédiatement la solution d'un problème des plus importants et cherché depuis longtemps : la construction d'un relais téléphonique.

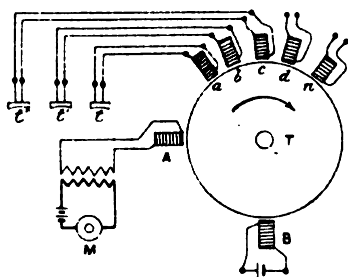


Fig. 19. — Relais et multiplicateurs téléphoniques.

La figure 19 indique schématiquement la disposition d'un tel appareil. En T est le tambour tournant sur lequel est enroulée la bande d'acier; en A l'électro-aimant inscripteur, en série avec le microphone M ; en *a*, *b*, ..., *n*, les électro-aimants reproducteurs respectivement reliés aux récepteurs *t*, *t'*, *t''*, donnant des sons dont le renforcement dépendra de la vitesse linéaire de la bande d'acier ; enfin en B un électro-aimant effaceur parcouru par un courant continu.

Comme on peut mettre plusieurs électro-aimants reproducteurs et relier à chacun d'eux plusieurs récepteurs téléphoniques, l'appareil constitue en même temps un multiplicateur téléphonique.

3° *Téléphonie multiple.* — Une autre application non moins importante résulte de la possibilité de transmettre simultanément deux ou un plus grand nombre de conversations sur un même fil, c'est-à-dire de réaliser la téléphonie multiple.

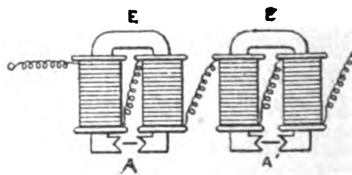


Fig. 20.

Pour en faire comprendre le principe supposons que deux rubans d'acier A et A' (fig. 20) se déplacent avec la même vitesse entre les pôles de deux électro-aimants en série avec le transmetteur microphonique devant lequel on parle. Si les électro-aimants sont identiques les variations d'aimantation produites dans les tranches correspondantes des deux rubans seront égales et, si l'on suppose que ces deux rubans étaient également et uniformément aimantés, leur aimantation en chaque point après leur passage entre les pôles des électro-aimants pourra être représentée par deux courbes identiques *a b*, *a' b'* (fig. 21). En reliant les électro-aimants à un récepteur téléphonique et en faisant passer devant

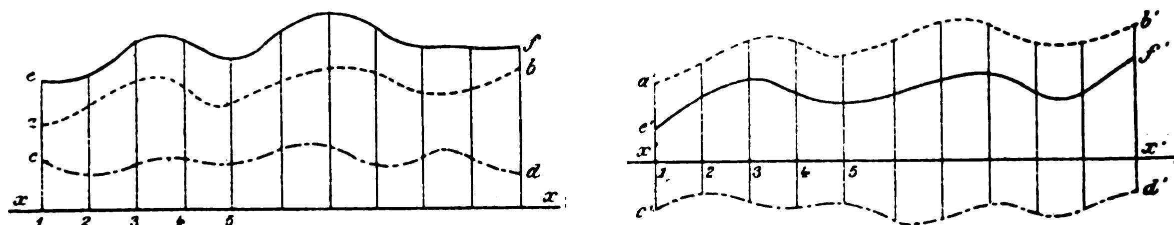


Fig. 21.

eux les bandes aimantées, on obtiendra la reproduction des paroles prononcées devant le microphone, les forces électromotrices induites dans chacun des électro-aimants s'ajoutant. Mais on voit immédiatement qu'en changeant les connexions des deux électro-aimants EE', les forces électromotrices se compenseront et le téléphone récepteur restera muet.

Laissons les connexions des électro-aimants dans le nouvel état, relions ceux-ci au microphone transmetteur et parlons devant ce microphone. Les deux électro-aimants produiront maintenant dans les rubans des variations d'aimantation de sens contraires et si ces rubans étaient uniformément aimantés avant leur passage devant les électro-aimants, leur aimantation après le passage serait représentée par la courbe *cd* pour l'un et par la

courbe symétrique $c'd'$ pour l'autre. Dans ces conditions si l'on relie aux électro-aimants un téléphone récepteur, le téléphone reproduira les paroles prononcées devant le transmetteur tant que les connexions des électro-aimants restent ce qu'elles étaient au moment de l'inscription, mais ce téléphone reste muet si l'on change ces connexions car les forces électromotrices induites se compensent alors.

Nous avons supposé que les deux inscriptions précédentes se faisaient sur des bandes uniformément aimantées. Supposons maintenant que l'on superpose les deux inscriptions. Alors l'état magnétique de chaque ruban sera la résultante des états magnétiques dûs à chaque inscripteur séparément; pour l'un des rubans il sera représenté par ef, pour l'autre par $e'f'$. Si l'on fait passer les rubans ainsi aimantés devant les électro-aimants connectés comme ils l'étaient lors de la première inscription les forces électromotrices développées, proportionnelles aux ordonnées de ef et de $e'f'$, s'ajouteront et donneront une force électromotrice résultante proportionnelle à la somme des ordonnées de ef' et de $e'f'$, c'est-à-dire au double des ordonnées de ab; le téléphone récepteur reproduira donc les paroles prononcées en premier lieu. Pour des raisons semblables ce téléphone reproduira les paroles prononcées en second lieu si l'on connecte les électro-aimants comme ils l'étaient au moment de la seconde inscription.

On a donc ainsi un moyen de reproduire à volonté l'une ou l'autre des deux inscriptions superposées. Pratiquement il n'est même pas nécessaire de prendre deux rubans ; un seul suffit et les deux électro-aimants sont placés l'un devant l'autre. Un même point du fil reçoit alors, pour chaque enregistrement, deux impressions correspondant à deux sons prononcés à un intervalle de temps égal à celui qui met ce point pour passer d'un électro-aimant à l'autre ; la superposition de deux enregistrements donne donc lieu à la superposition de quatre impressions magnétiques. La reproduction de l'un ou l'autre enregistrement devient alors plus difficile à expliquer qu'avec la disposition théorique envisagée, mais on en conçoit néanmoins la possibilité.

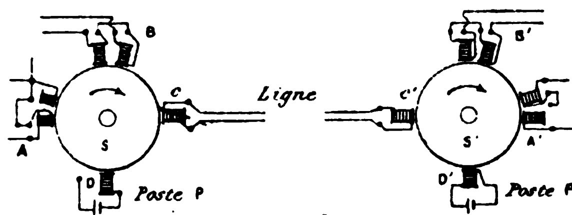


Fig. 22. — Transmission téléphonique duplex.

Le procédé n'est d'ailleurs pas limité au cas de deux enregistrements. On peut en effet enregistrer sur une même bande un nombre quelconque n de conversations à conditions de trouver n groupements d'électro-aimants tels que chaque groupement soit insensible aux impressions magnétiques lancées par les $n-1$ autres groupements [1].

La figure 22 montre schématiquement le dispositif imaginé par M. Poulsen pour réaliser la téléphonie duplex en partant de ces principes. Deux disques S, garnis à leur circonférence de bagues en acier, tournent dans le sens des flèches à des vitesses sensiblement égales mais sans qu'il soit besoin de réaliser le synchronisme des mouvements. Au poste P deux groupes d'électro-aimants A et B sont placés en regard de la bande d'acier.

---

[1] Il est évident que les combinaisons deviendront d'autant plus compliquées que le nombre d'enregistrements visé sera plus grand.

Pour trois enregistrements, la chose est encore assez simple et s'obtient au moyen de trois groupes de quatre électroaimants disposés comme il suit :

1er gr. : D.D.D.D. 2e gr. : S.S.D.D. 3e gr. : D.S.D.S.

en désignant par D l'enroulement dextrorsum et par S l'enroulement sinistrorsum.

Chacun de ces groupes se compose de deux électro-aimants dont les enroulements sont combinés de façon à produire les effets de totalisation ou de différenciation exposés plus haut. Au poste P′ les mêmes dispositions se trouvent reproduites en A′ et B′. L'installation est complétée par des électro-aimants effaceurs D et D′ et par les électro-aimants C et C′ reliés aux fils de ligne.

On voit combien sont importantes les applications que peut recevoir le télégraphone Poulsen rien que dans le domaine de la téléphonie.

N'ayant pas pu nous rendre compte jusqu'ici de leur possibilité, nous ne saurions nous prononcer à cet égard, mais M. Marinovitch qui, à Berlin, a pu suivre quelques-uns des essais de M. Poulsen, n'hésite pas à émettre l'opinion suivante :

« Après avoir assisté aux expériences que nous venons de décrire et avoir examiné les brevets de M. Poulsen, notre opinion est que l'on se trouve en présence d'une des plus belles inventions dans le domaine de la transmission de la parole. Qu'il s'agisse d'applications similaires à celles des phonographes, ou d'applications purement téléphoniques, l'invention de M. Poulsen, que les spécialistes allemands les plus éminents n'ont pas craint de qualifier de géniale, ouvre un champ nouveau et très étendu. »

J. Blondin.

LES COURANTS DE CAPACITÉ

DANS LES LIGNES POLYPHASÉES SYMÉTRIQUES ET LEUR REPRÉSENTATION GRAPHIQUE

Les phénomènes de capacité, dont les lignes aériennes ou souterraines sont le siège, prennent une importance toujours plus appréciable à mesure que l'on emploie des voltages plus élevés ou en d'autres mots à mesure que l'on transmet l'énergie électrique à de plus grandes distances.

On sait en effet que le courant de charge d'un condensateur soumis à une tension sinusoïdale est, toutes conditions égales, proportionnel à la tension, à la capacité et à la fréquence, son expression étant :

$$I_c = 2\pi n V C$$

Jusqu'à présent, ces phénomènes de capacité ont pu être totalement négligés dans le calcul des lignes aériennes, parce que les voltages et les distances de transmission n'étaient pas suffisantes pour leur donner une importance appréciable. Mais les expériences exécutées en Amérique ces dernières années, ont montré que l'énergie électrique pouvait être transmise industriellement par lignes aériennes à la tension de 40 000 volts, et d'importants essais semblent indiquer que cette limite pourra, sans grandes difficultés, être reculée jusqu'à 50 000 et 60 000 volts, ce qui permettrait d'augmenter ainsi considérablement la distance à laquelle l'énergie électrique peut être avantageusement transportée.

Avec de tels voltages et de telles distances, les phénomènes de capacité peuvent devenir non seulement très appréciables, mais importants dans les transmissions de l'avenir, particulièrement aux heures où l'énergie transportée ne sera pas considérable.

Dans ce cas le courant de charge de la ligne peut devenir une fraction très notable du courant qui transmet la puissance.

Dans les canalisations souterraines, et particulièrement avec les câbles, ces phénomènes

sont beaucoup plus sensibles, comme on sait, par suite de la grande capacité de ce genre de canalisations. Aussi, les perturbations importantes qui en résultent ont-elles été signalées et étudiées depuis fort longtemps. Mentionnons seulement la combinaison de la capacité du câble avec la self-induction du réseau, pouvant donner lieu à des phénomènes de résonnance, qui ont pour effet d'élever le potentiel en certains points de la canalisation et d'occasionner parfois des ruptures d'isolation. Citons également le défaut apparent d'isolation d'un câble parcouru par des courants alternatifs (impédance d'isolement) et les dangers physiologiques qui en résultent, même dans le cas d'un contact avec un seul des conducteurs d'un réseau parfaitement isolé.

De même qu'on tend à élever toujours davantage la tension des lignes aériennes, de même la technique de la fabrication des câbles qui n'avait guère osé dépasser 10 000 volts semble avoir réalisé de grands progrès. Aussi voit-on plusieurs maisons annoncer des câbles pouvant supporter des tensions de 20 000 volts.

Si ces câbles supportent les à-coups provenant des effets de résonnance, ils permettront dans bien des cas, de relier directement la ligne aérienne aux usines de distribution placées généralement au centre même des villes, et rendront ainsi de grands services.

Mais comme pour les lignes aériennes il importe de remarquer qu'à mesure qu'on augmente la tension, les courants de charge du câble prennent une importance plus considérable. Il est donc d'un intérêt très actuel, soit au point de vue des lignes aériennes, soit à celui des câbles, d'étudier en quelque sorte industriellement le fonctionnement des lignes et canalisations polyphasées, en ce qui concerne ces courants de charge.

Dans un précédent article (voir *L'Éclairage Électrique*, 20 janvier 1900) j'ai montré comment la méthode graphique permettait de se rendre compte des effets de capacité dans les câbles polyphasés concentriques avec points neutres à la terre.

A ce propos, j'ai cru utile d'insister sur les réserves qu'il convenait de faire, relativement à l'exactitude des résultats obtenus en substituant à la capacité uniformément répartie, un ou plusieurs condensateurs branchés entre les différents conducteurs.

En traitant aujourd'hui le cas des câbles polyphasés non plus concentriques, mais symétriques, je me dispenserai de revenir sur cette question, renvoyant donc le lecteur à l'article déjà cité.

Câbles polyphasés symétriques (1). — Les câbles concentriques, comme nous l'avons fait remarquer, tendent de moins en moins à être employés pour les hautes tensions. Ils ont l'inconvénient de présenter généralement une grande capacité et d'introduire une dissymétrie entre les courants des diverses phases, comme cela résulte des diagrammes que j'ai donnés. Par contre, ils ont l'avantage théorique de supprimer toute action inductive sur les conducteurs voisins et particulièrement sur les conducteurs téléphoniques.

Les câbles symétriques, tout en présentant une moindre compensation pour les effets d'induction, sur des conducteurs très rapprochés, n'offrent pas les mêmes mêmes inconvénients et sont généralement plus résistants comme isolation. Nous allons donc les passer en revue.

Lorsqu'on envisage des courants alternatifs industriels, on peut supposer que les variations de tension sont toujours suffisamment lentes pour que l'équilibre électrostatique, soit, à chaque instant du régime permanent, considéré comme pratiquement atteint. Cette supposition permettra d'appliquer les équations de l'équilibre électrostatique au cas de lignes ou de câbles soumis à des tensions polyphasées.

---

(1) Voir à ce sujet : *Comptes rendus de l'Académie des sciences.* Séance des 12 mars et 21 mai 1900. *Ecl. Élect.*

....

D'une façon générale, si l'on suppose *n* conducteurs enfermés dans une armature (*o*) qui les entoure complètement, on aura :

$$m_0 = \gamma_{0.0}\, v_0 + \gamma_{0.1}\, v_1 + \ldots\ldots \gamma_{0.n}\, v_n$$
$$m_1 = \gamma_{1.1}\, v_1 + \gamma_{1.0}\, v_0 + \ldots\ldots \gamma\ .\ v_n$$
$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$

$\gamma_{o.o}\ \gamma_{1.1}\ \gamma_{n.n}$ étant les coefficients de capacités (toujours positifs).

$\gamma_{o.1}\ \gamma_{o.2} \ldots\ldots \gamma_{n-1.n}$ les coefficients d'induction électrostatique (toujours négatifs).

Comme l'armure enveloppe tous les autres conducteurs, on aura de plus :

$$\gamma_{0.0} = -\ (\gamma_{0.1} + \gamma_{0.2} + \ldots\ldots\ldots \gamma_{0.n})$$
$$\gamma_{1.1} = -\ (\gamma_{1.0} + \gamma_{1.2} + \ldots\ldots \gamma_{1.n}).$$
$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$

Mais les équations générales peuvent être considérablement simplifiées. En effet, dans tous les exemples qui suivent, nous supposerons que l'armure du câble est à la terre, c'est-à-dire au potentiel $v_0 = o$.

En outre, comme tous les conducteurs intérieurs sont soumis à des tensions polyphasées sinusoïdales on aura :

$$v_1 + v_2 + \ldots\ldots v_n = o.$$

Cette supposition fera donc disparaître immédiatement un certain nombre de termes.

Si, de plus, tous les conducteurs intérieurs sont placés symétriquement par rapport à l'armure, on a :

$$\gamma_{0.1} = \gamma_{0.2} = \ldots\ldots \gamma_{0.n}$$

et il en résulte immédiatement $m_o = o$, c'est-à-dire que la somme algébrique des charges qui recouvrent intérieurement l'armature est à chaque instant nulle. Ceci suppose naturellement qu'il ne se trouve nulle part un défaut d'isolation susceptible de rompre la symétrie.

Considérons maintenant le cas d'un câble monophasé (fig. 1).

Les conditions qui simplifient les équations générales seront :

$$v_0 = o$$
$$v_1 + v_2 = o$$
$$\gamma_{1.1} = \gamma_{2.2}$$

Elles deviendront :

$$m_0 = o$$
$$m_1 = (\gamma_{1.1} - \gamma_{1.2})\, v_1$$
$$m_2 = -\ (\gamma_{1.1} - \gamma_{1.2})\, v_1$$

Ces formules nous montrent qu'au point de vue du courant de charge, on peut remplacer les effets complexes résultant de la capacité du câble par l'action de deux condensateurs schématiques de capacité $C' = (\gamma_{1.1} - \gamma_{1.2})$ branchés entre chaque conducteur et l'armure (fig. 2).

Comme tout est supposé symétrique au point de vue de la capacité et de l'isolation, le schéma du réseau qui servira de base à la construction du diagramme de fonctionnement sera représenté (fig. 3). Les points O et O', si la symétrie était parfaite seraient alors au potentiel zéro et pourraient sans inconvénient être mis à la terre par des conducteurs OT et O'T, et ces conducteurs ne seraient parcourus par aucun courant; ce qui n'est pas le cas avec les câbles concentriques.

Au lieu de considérer la tension entre chaque conducteur et la terre, on pourrait également envisager la tension entre les deux conducteurs laquelle est $v = v_1 - v_2$ soit en tenant compte des signes $v = 2v_1$.

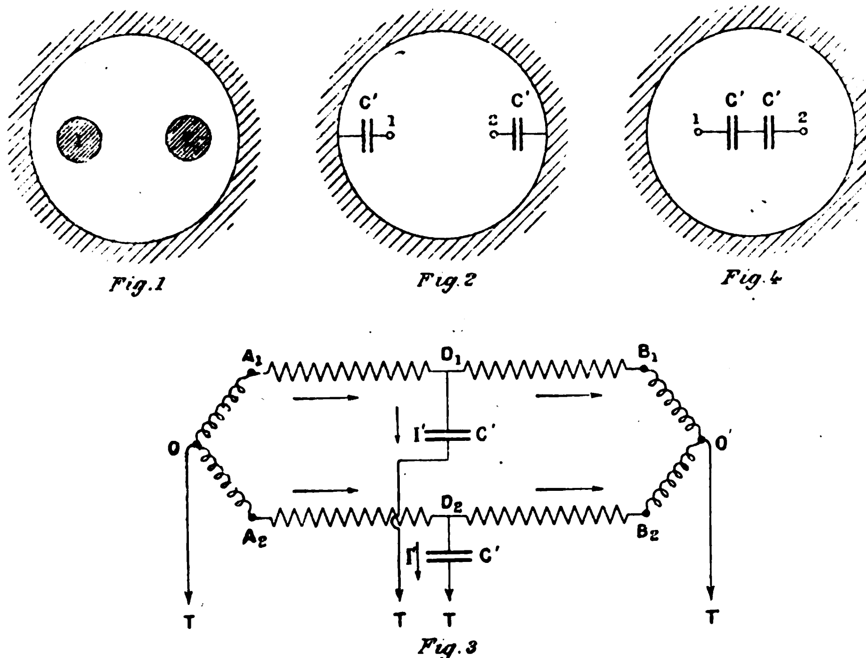


Fig. 1 à 4.

Dans ce cas on aurait recours au schéma équivalent (fig. 4) et l'on verrait que le système équivaut à celui d'une cascade de deux condensateurs C' branchée directement entre les deux conducteurs.

La capacité de la cascade étant $C'' = \frac{\gamma_{1.1} - \gamma_{1.2}}{2}$.

Les résultats numériques seraient naturellement les mêmes.

Nous n'avons par jugé utile de résoudre le diagramme pour le câble monophasé, ce mode de construction étant absolument identique à celui du cas suivant.

Câble biphasé 4 conducteurs (fig. 5).

Les conditions qui simplifient les équations générales sont :

$$\gamma_{1.1} = \gamma_{2.2} = \gamma_{3.3} = \gamma_{4.4}$$
$$\gamma_{1.2} = \gamma_{1.4} = \gamma_{2.3} = \gamma_{3.4}$$
$$\gamma_{1.3} = \gamma_{2.4}$$
$$v_0 = 0$$
$$v_1 + v_3 = 0$$
$$v_2 + v_4 = 0.$$

Les équations générales deviennent :

$$m_0 = 0$$
$$m_1 = (\gamma_{1.1} - \gamma_{1.3})\, v_1$$
$$m_2 = (\gamma_{1.1} - \gamma_{1.3})\, v_2$$
$$m_3 = -(\gamma_{1.1} - \gamma_{1.3})\, v_1$$
$$m_4 = -(\gamma_{1.1} - \gamma_{1.3})\, v_2$$

Ces relations nous montrent qu'au point de vue du calcul des courants de charge,

l'ensemble des effets d'induction électrostatique qui s'excercent entre les divers conducteurs et l'armure équivaut à celle de quatre condensateurs schématiques (fig. 6) de capacité

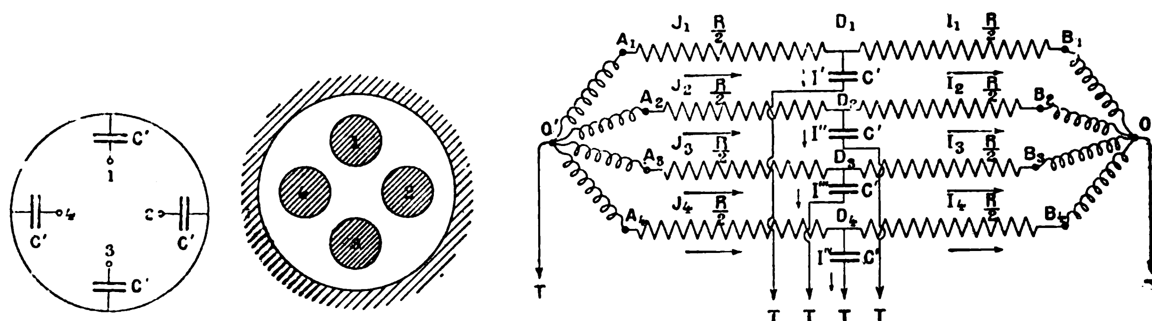


Fig. 5, 6, et 7.

$C' = (\gamma_{1\cdot 1} - \gamma_{1\cdot 3})$ branchés entre chaque conducteur et l'armure. Le schéma du réseau devient alors dans une première approximation (fig. 7) et la construction du diagramme pour l'une des phases sera donnée figure 8.

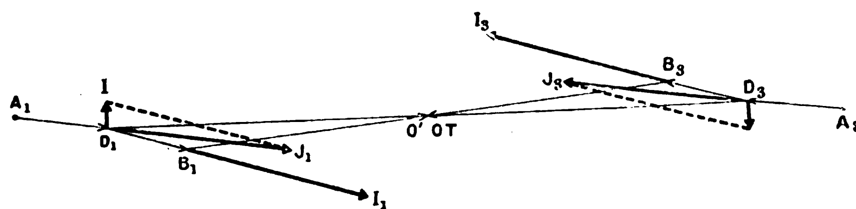


Fig. 8.

Construction du diagramme. — Nous n'effectuerons cette construction que pour un seul des conducteurs, la marche étant identique pour chacun des trois autres :

$\overline{B_1O_1} = P_1$ tension à l'arrivée } données
$\overline{B_1I_1} = I_1$ courant à » }

$\overline{D_1B_1} = \frac{I_1R}{2} \parallel \overline{B_1I_1}$

$\overline{D_1T}$ = tension entre le conducteur (1) et la terre

$\overline{D_1I'} = \frac{\omega C'}{\overline{D_1T}} \perp \overline{D_1T} = I'$ courant de charge

$\overline{D_1J_1} = (I_1 + I') = J_1$ courant au départ

$\overline{A_1D_1} = \frac{J_1R}{2} \parallel \overline{D_1J_1}$

$\overline{A_1T} = \Delta_1$ tension entre le conducteur 1 au départ et la terre.

En effectuant la même construction pour le conducteur 3, on obtient le diagramme de fonctionnement de la première phase (fig. 8).

Le diagramme relatif à la seconde phase (conducteurs 2 et 4) serait identique, mais placé à 90°.

Câble triphasé (fig. 9). — Les conditions qui simplifient les équations générales seront :

$$v_0 = 0$$
$$v_1 + v_2 + v_3 = 0$$
$$\gamma_{1.1} = \gamma_{2.2} = \gamma_{3.3}$$
$$\gamma_{0.1} = \gamma_{0.2} = \gamma_{0.3}$$
$$\gamma_{1.2} = \gamma_{1.3} = \gamma_{2.3}.$$

Les équations générales deviennent :

$$m_0 = 0$$
$$m_1 = (\gamma_{1.1} - \gamma_{1.2})\, v_1$$
$$m_2 = (\gamma_{1.1} - \gamma_{1.2})\, v_2$$
$$m_3 = (\gamma_{1.1} - \gamma_{1.2})\, v_3$$

Au point de vue du courant de charge le câble peut être remplacé par le schéma figure 10 et par un réseau analogue à ceux des figures 3 et 7 et dans lequel :

$$C' = (\gamma_{1.1} - \gamma_{1.2})$$

On voit donc que, le problème du courant de charge d'un câble symétrique mono, bi ou triphasé peut être résolu si l'on connaît le coefficient de capacité d'un des conducteurs et le coefficient d'induction électrostatique de deux conducteurs.

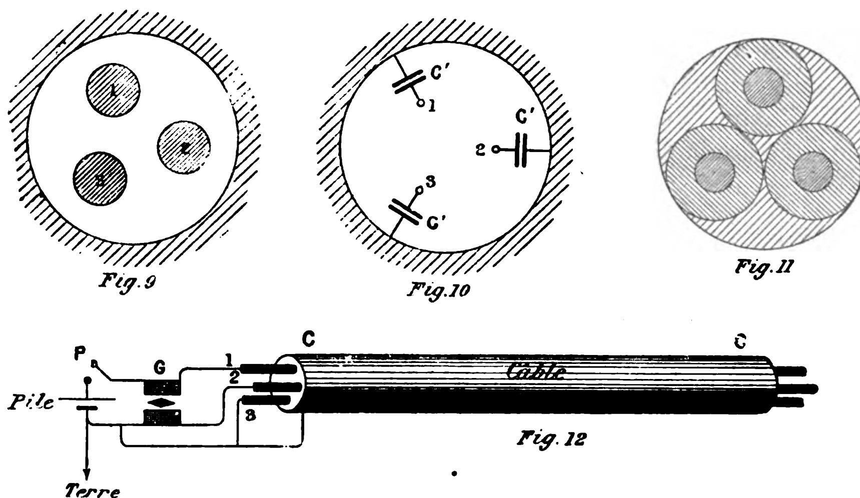


Fig. 9 à 12.

Détermination des coefficients de capacité et d'induction électrostatiques des câbles symétriques. — Le calcul des coefficients de capacité et d'induction ne peut être effectué que dans des cas très simples, celui des câbles concentriques par exemple ou des lignes aériennes pour lesquelles le diamètre des conducteurs est toujours petit relativement à la distance qui les sépare entr'eux ou du sol. Mais dans le cas des câbles, la distance des conducteurs étant du même ordre que la dimension de leur section, le calcul devient presque impossible dès que le nombre des conducteurs dépasse deux.

En outre, il est rendu plus complexe encore par le fait que l'on se trouve souvent dans le cas d'un diélecrique hétérogène, par exemple figure 11.

Mais si le calcul présente des difficultés, l'expérience est relativement simple.

Lorsqu'on ne dispose pas de tensions polyphasées permettant de mesurer directement le courant de charge et d'en déduire la capacité C' on peut employer le dispositif figure 12 basé sur l'emploi du galvanomètre balistique, ce dispositif permet de déterminer C', même par une seule mesure, une fois le galvanomètre étalonné.

La figure 12 représente le cas d'un câble triphasé *cc* ; G est un galvanomètre balistique à deux bobines identiques et symétriquement placées.

Le conducteur 1 peut-être mis en rapport avec l'un des pôles de la pile à travers l'une des bobines du galvanomètre et cela au moyen de la clef P.

L'autre pôle de la pile est relié aux autres conducteurs et à l'armure ; la seconde bobine du galvanomètre balistique étant intercalée entre le conducteur 2 et la pile.

A l'instant où l'on presse la clef P un courant d'électricité positive charge le conducteur 1 d'une quantité $m^1 = \gamma_{1\cdot1} V$; V désignant la force électromotrice de la pile. En même temps un courant d'électricité négative $-m_2 = \gamma_{1\cdot2} V$ traverse la seconde bobine du galvanomètre et va charger par influence le conducteur 2. Si l'on a eu soin de coupler les bobines du galvanomètre de façon que les actions des deux courants d'électricité s'ajoutent pour donner l'impulsion à l'aiguille, on aura en désignant par δ l'arc d'impulsion :

$$\delta = K(m_1 + m_2) = K(\gamma_{1.1} - \gamma_{1.2})V$$

d'où :

$$C' = (\gamma_{1.1} - \gamma_{1.2}) = \frac{\delta}{KV}$$

Il était intéressant de savoir quelle pourrait être approximativement la valeur de C' pour les câbles à haute tension employés actuellement dans l'industrie.

Je dois à l'obligeance de M. Revillod, ingénieur à la Société française des câbles Berthoud Borel, à Lyon, de précieux renseignements sur la capacité de trois câbles triphasés à haute tension que cette importante maison a construits récemment.

	1er câble	2e câble	3e câble
Tension normale	10 000 volts	10 000 volts	20 000 volts
Section d'une corde	85 mm²	140 mm²	50 mm²
Diamètre d'une corde	13,1 mm	16,65 mm	13,85 mm
Longueur du câble	5 km environ	11 km	0,1 km
Distance entre une corde et l'armure de bord à bord	9 mm	9 mm	18 mm
Distance entre deux cordes de bord à bord	10,5 mm	10,5 mm	18 mm
Capacité kilométrique entre les trois conducteurs d'une part et l'armure d'autre part	$C_1 = 0{,}282$ MF	$C_1 = 0{,}314$ MF	$C_1 = 0{,}204$ MF
Capacité kilométrique entre un conducteur d'une part, les deux autres conducteurs et l'armure d'autre part	$C_2 = 0{,}143$ MF	$C_2 = 0{,}166$ MF	$C_2 = 0{,}095$ MF

Des données précédentes, il est possible de déduire par le calcul la valeur de la capacité C' du condensateur schématique.

Mais d'abord, il convient de remarquer que les capacités C_1 et C_2, telles qu'elles ont été mesurées, correspondent précisément aux coefficients de capacités $C_1 = \gamma_{0\cdot0}$ et $C_2 = \gamma_{1\cdot1}$ rapportés au km.

D'autre part, comme l'armure entoure les trois conducteurs, on a pour la première expérience :

$$C_1 = -(\gamma_{0.1} + \gamma_{0.2} + \gamma_{0.3})$$

et comme les trois conducteurs sont identiques et symétriquement placés $\gamma_{0\cdot} = \gamma_{0\cdot2} = \gamma_{0\cdot3}$ d'où :

$$\gamma_{0.1} = -\frac{C_1}{3}.$$

Dans la seconde expérience, on a :

$$C_2 = \gamma_{1.1}$$

et pour les mêmes raisons que précédemment :

$$C_2 = -(\gamma_{1.2} + \gamma_{1.3} + \gamma_{1.0}).$$

D'autre part, on a par raison de symétrie $\gamma_{1\cdot2} = \gamma_{1\cdot3}$. En remplaçant $\gamma_{1\cdot0}$ par sa valeur

déduite de la première expérience, on a donc :

$$C_2 = -\left(2\gamma_{1.2} - \frac{C_1}{3}\right)$$

d'où :

$$\gamma_{1.2} = \frac{C_1 - 3C_2}{6}.$$

Enfin la capacité du condensateur schématique étant :

$$C = (\gamma_{1.1} - \gamma_{1.2})$$

on aura finalement :

$$C' = \frac{9C_2 - C_1}{6}.$$

Les coefficients de capacité et d'induction électrostatiques, rapportés au kilomètre, sont donc, pour les trois câbles :

	1er câble	2e câble	3e câble
$\gamma_{0.0}$	0.282 MF	0.314 MF	0.204 MF
$\gamma_{1.1}$	0,143 »	0.166 »	0.095 »
$\gamma_{0.1}$	— 0.094 »	— 0.105 »	— 0.068 »
$\gamma_{1.2}$	— 0.0245 »	— 0.0307 »	— 0.013 »
$C' = (\gamma_{1.1} - \gamma_{1.2})$	0.1675 »	0.1967 »	0.108 »

On voit donc que c'est la mesure de $\gamma_{1.1}$ qui se rapproche le plus de la valeur C', mais qu'elle est un peu trop faible.

En résumé, il nous a semblé que la notion de la capacité apparente C' d'un conducteur de ligne, pouvait être de quelque utilité dans l'étude des courants de charge des canalisations polyphasées symétriques.

Elle nous a permis, en effet, de simplifier considérablement les constructions graphiques puisque par son emploi l'ensemble des phénomènes de capacité agissant sur l'un quelconque des conducteurs se trouve groupé en un seul terme.

Il importe également de remarquer que cette notion, appliquée spécialement ici aux canalisations souterraines, convient aussi aux lignes aériennes symétriques, les coefficients d'induction électrostatique de chaque conducteur de ligne avec le sol étant *pratiquement* les mêmes, dès que la ligne est à quelque distance du sol.

En second lieu, la notion de capacité apparente d'un conducteur de ligne polyphasée, dont nous avons fait ici l'application aux lignes mono, bi et triphasée, seules employées dans la pratique, peut être étendue au cas de courants sinusoïdaux *n* phasés. Elle permet également de traiter analytiquement, avec une grande simplicité, le problème de la répartition des tensions et des courants, en régime périodique établi, le long d'une ligne polyphasée symétrique présentant de la capacité et de la self-induction uniformément répartie. Mais cette question d'un intérêt plus théorique a fait l'objet d'autres communications [1] ; nous n'y reviendrons pas.

C. E. Guye.

---

[1] *Comptes rendus de l'Acad. des Sc.*, 12 mars-21 mai 1900. — *Arch. des Sc. ph. et nat.*, juin 1900.

SUR LE ROLE DES RÉGULATEURS DE VITESSE

DANS LA MARCHE EN PARALLÈLE DES ALTERNATEURS

Dans un article précédent (voir *Éclairage Électrique* du 17 mars 1900), je posais en principe que l'état de synchronisme imposé à un ensemble d'alternateurs fonctionnant en parallèle ne laissait aux régulateurs de vitesse aucune liberté d'action individuelle permettant de faire varier la répartition des charges par la seule action des rhéostats de champ. J'en déduisais cette conséquence que la puissance effectivement développée par chaque unité génératrice demeurait indépendante de son taux d'excitation, abstraction faite d'un réglage mécanique opéré en dehors de toute action du régulateur automatique de vitesse, tant que le potentiel est maintenu constant aux bornes du réseau commun de distribution.

Une critique a été opposée à cette assertion. Elle est basée sur ce fait que les conditions de marche au couplage n'excluent pas la possibilité de variations momentanées des vitesses individuelles : variations qui seraient de nature à rendre pendant un temps limité, mais appréciable, leur liberté d'action aux régulateurs.

Au premier abord, il peut sembler paradoxal de dire que la puissance développée par un alternateur au couplage ne varie pas lorsqu'on modifie l'excitation de ses inducteurs. Mais on se rend facilement compte de la possibilité théorique de ce fait, si l'on considère qu'il est, non pas évident, mais tout au moins concevable à priori que toute variation du champ inducteur puisse modifier, en même temps que la grandeur numérique de la force électromotrice induite, la phase de cette force électromotrice : cette double action pouvant s'opérer de telle sorte que le produit EI cos $\varphi\mu$ reste constant, quelle que soit E.

Pour préciser maintenant la portée de la critique ci-dessus, considérons le cas où, en passant d'une touche à une autre du rhéostat de champ, on vient à augmenter instantanément la force électromotrice induite initiale. A cet instant précis, il y a accroissement du couple résistant : et comme aucune action ne s'est encore produite qui soit de nature à modifier la valeur initiale du couple moteur, l'équilibre dynamique sera rompu : il se produira un ralentissement de l'alternateur, et par suite un glissement en arrière de son calage primitif, glissement qui persistera jusqu'à ce l'équilibre dynamique soit de nouveau rétabli.

Cette dernière condition peut se trouver réalisée de deux manières : soit que le glissement ait décalé en arrière la phase de la force électromotrice jusqu'à ramener le couple résistant à une valeur exactement égale à sa valeur primitive, soit qu'il ait, en même temps, produit un accroissement du couple moteur en mettant en jeu l'action du régulateur automatique de vitesse de la machine motrice.

Or, dans la théorie élémentaire qui fait l'objet de l'article mentionné, je n'ai considéré que le premier cas, excluant de la sorte implicitement toute efficacité du régulateur dans de semblables conditions. J'estime en effet qu'une variation momentanée de vitesse, comme celle qui se produit au cours du glissement, ne saurait être corrigée utilement par les régulateurs en usage ; j'ajouterai que, non seulement il n'est pas à souhaiter que ces organes possèdent la sensibilité et la rapidité d'action qui les rendraient aptes à intervenir dans ce but, mais qu'il est au contraire de la dernière importance qu'ils demeurent soustraits à toute influence de ce genre.

La raison en est simple. L'action synchronisante qui s'exerce d'un alternateur à l'autre

est identique comme effet à celle d'un régulateur de vitesse *rigoureusement isochrône*. Elle doit, seule, suffire au maintien du synchronisme, et aucun régulateur de vitesse, si parfait qu'il fût, ne saurait lui suppléer. Cet organe est donc, à ce point de vue spécial, inutile, et il n'y a de ce fait aucun inconvénient à ce que sa fonction ne n'exerce pas dans ce cas particulier. Mais il est, de plus, nécessaire et même indispensable qu'il en soit ainsi. Car la superposition de deux actions régulatrices, l'une électrique, l'autre mécanique, ne ferait, dans le cas général, qu'apporter un très-grave élément de trouble dans la stabilité de la marche, par suite des effets de résonnance qui en résulteraient. Ceci est un fait d'ordre général et suffisamment connu pour qu'il n'y ait pas lieu d'y insister : mais il emprunte une gravité exceptionnelle aux conditions spéciales qui régissent le maintien du synchronisme dans la marche en parallèle des alternateurs, car la désynchronisation n'a pas de cause plus fréquente que les effets de ce genre, dont la conséquence est l'établissement d'un état oscillatoire d'amplitude susceptible de s'accroître jusqu'à dépasser la limite angulaire de stabilité.

Il y a d'ailleurs lieu de noter que cet état existe normalement, du fait de la variation du couple moteur, toutes les fois que la machine motrice possède un mouvement alternatif. Il y a là une cause permanente de trouble, inévitable avec l'emploi des machines à vapeur, mais qui, considérée isolément, peut et doit être d'une importance très-restreinte si les conditions de fonctionnement de l'ensemble ont été convenablement étudiées. Par contre, il cesse d'en être ainsi, dès qu'intervient un effet de nature à renforcer la tendance au mouvement pendulaire : et c'est précisément un effet de ce genre que pourrait produire un régulateur assez sensible pour obéir aux impulsions qui lui seraient communiquées par les variations de vitesses dues à cette cause : variations qui sont de même ordre de grandeur que celle considérée plus haut.

A l'Usine Centrale du Secteur de la rive gauche de Paris, les régulateurs des machines sont munis de freins constitués par un piston mobile dans un cylindre plein d'huile. Il arrive que l'huile s'échappe par le presse-étoupes, et que le cylindre se trouve partiellement vidé après quelques temps de marche. Si l'on n'y remédie pas à temps, ce fait a pour conséquence invariable l'établissement d'un régime oscillatoire, dont le premier effet est de produire des battements dans la lumière, mais qui — l'action du frein continuant à décroître au fur et à mesure que l'huile s'élimine — arriverait à rendre la marche au synchronisme irréalisable.

Etant donc donné qu'il est indispensable d'amortir énergiquement le jeu des régulateurs pour les soustraire aux actions de cet ordre, il en résulte que ces appareils ne pourront plus intervenir pour corriger les tendances au décalage, et l'action synchronisante du courant de circulation restera seule à agir, ainsi que nous l'avons admis dans l'étude précitée.

Est-ce à dire que le régulateur de vitesse soit un organe inutile au cours de la marche en parallèle ? Nullement : son rôle essentiel et bien défini consiste à proportionner à la demande de travail sur le réseau, la puissance, non plus d'*une* unité isolée du groupe générateur, mais *de l'ensemble* de ces unités : tous les régulateurs fonctionnant parallèlement, dès qu'il se produit une variation dans le régime du réseau. En particulier, lors de la mise en service d'un alternateur, l'état de vitesse de l'ensemble tend à s'accroître de ce fait que la charge totale se trouve répartie sur un plus grand nombre d'unités. Les régulateurs agissent dès lors de manière à réduire la puissance motrice sur les machines précédemment en service, au fur et à mesure que le mécanicien manœuvre pour accroître celle de la nouvelle unité, par action directe exercée, soit sur la valve d'admission, soit sur l'organe de

détente. Au sens de l'action près, les choses se passent de même lorsqu'on met un alternateur hors circuit.

En résumé, il est indispensable que toute machine motrice destinée à la conduite d'un alternateur devant fonctionner au couplage soit pourvue de deux organes, distincts en principe, de régulation mécanique : l'un commandé automatiquement par les variations de vitesse, l'autre, manœuvrable à la main, qui permette de modifier la puissance motrice pour un état de vitesse donné et invariable. Le régulateur ordinaire peut d'ailleurs satisfaire à cette double condition, si on lui adjoint le mécanisme nécessaire pour modifier en marche l'action antagoniste de la force centrifuge, de manière qu'à une vitesse donnée puisse correspondre un écart variable des masses pesantes ; au reste, les solutions peuvent varier à l'infini.

G. CHEVRIER.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

ÉLECTROCHIMIE

Bains d'électro-déposition Quintin Marino. Brevet anglais n° 18 350, depuis le 11 septembre 1899, accepté le 10 mars 1900.

Ces bains, faiblement acides ou même alcalins s'obtiennent de la manière suivante :

A la dissolution d'un sel quelconque (chlorure, sulfate, etc...) du métal que l'on veut déposer, on ajoute une solution d'un carbonate alcalin dans une proportion telle qu'à deux parties en poids de sel métallique correspond une partie en poids du carbonate. On a ainsi un précipité que l'on lave de manière à le débarrasser complètement de l'excès du sel. Ce précipité est ensuite dissout dans un dissolvant approprié additionné d'un acide organique (acide butyrique, acétique, benzoïque, formique, lactique, malique, succinique, etc.), ou d'un cyanure ou ferrocyanure ou cyanate et d'une certaine quantité d'un chlorure alcalin.

Les proportions indiquées par l'auteur sont :

Dissolvant	75 p. 100
Carbonate précipité	15 »
Acide carbonique, cyanure, ferrocyanure, ou cyanate	7 »
Chlorure d'ammonium, de potassium ou de sodium	3 »

La proportion de carbonate dépend d'ailleurs beaucoup du dissolvant employé. Si l'on prend de l'eau, la proportion est faible, les carbonates sont insolubles dans l'eau pure ; on a de meilleurs résultats en prenant de la glycérine, liquide déjà préconisé par l'auteur (¹).

La nature de l'acide organique employé dépend de celle du métal. Ainsi pour la confection des bains d'aluminium, il est préférable de prendre l'acide oxalique ; pour celle des bains de zinc, l'acide borique convient mieux ; pour les bains de plomb, l'acide tartrique donne les meilleurs résultats.

A titre d'exemple, M. Q. Marino indique la confection d'un bain d'aluminium : on mélange 2 parties de sulfate d'aluminium en dissolution avec une partie de carbonate de sodium, puis on lave le précipité formé. On prend 15 parties de ce carbonate et on les jette dans un mélange de 75 parties de glycérine, 7 d'acide oxalique et 3 de carbonate d'ammonium ; on chauffe vers 60° puis on laisse refroidir jusqu'à la température ordinaire.

Les bains ainsi préparés conservent toujours la même composition lorsqu'on les électrolyse avec une anode du métal qu'ils renferment, le poids de métal dissous à l'anode ne dépassant pas celui du métal déposé à la cathode comme cela se produit avec les bains acides. J. R.

Procédé Bourdillon pour la fabrication électrolytique des objets en plaqué de platine, d'or et d'argent. Brevet anglais n° 20237 déposé le 9 octobre 1899, accepté le 3 février 1900.

Un assez grand nombre de petits objets, prin-

(¹) *Écl. Élect.*, t. XX, p. 522, 30 sept. 1899 et t. XXII, p. 311, 24 février 1900.

cipalement d'orfèvrerie, sont faits en plaqué ou doublé, c'est-à-dire formés d'une mince couche d'un métal précieux renforcée par un métal ou un alliage commun. Ces objets sont fabriqués par laminage, estampage ou martelage ; M. Bourdillon propose de remplacer ces procédés mécaniques de fabrication par un procédé électro-chimique, qui d'ailleurs ne présente pas grande originalité.

Pour obtenir des feuilles doublées, une feuille très mince d'or, de platine ou d'argent est enroulée sur un tambour que l'on plonge dans un bain de sel de cuivre ; un balai frottant sur cette feuille la met en communication avec le pôle négatif d'une source d'électricité ; le pôle positif de celle-ci est reliée à deux anodes en cuivre disposées de part et d'autre du tambour. Au lieu d'enrouler la feuille sur un tambour on peut la tendre sur l'une des faces d'une plaque rigide de matière quelconque disposée verticalement dans un bain de cuivre en face d'une anode ; on peut d'ailleurs étendre une feuille sur chacune des faces de la plaque et disposer alors celle-ci entre deux anodes.

Lorsqu'il s'agit de renforcer un objet fabriqué par emboutissage ou autrement avec une feuille mince de platine ou d'or, un creuset de platine par exemple, on remplit l'objet d'un alliage fusible et on le dispose comme cathode dans un bassin de cuivre.

Pour la fabrication des objets en plaqué d'argent, il est préférable d'obtenir électrolytiquement la couche superficielle d'argent, plutôt que de la constituer par une feuille mince de ce métal, l'électro-déposition de l'argent se faisant avec la plus grande facilité ; on dépose ensuite une couche plus ou moins épaisse de cuivre. Si l'on veut une feuille plaquée la couche d'argent est déposée sur un tambour ou une plaque conductrice ou rendue conductrice superficiellement ; si l'on désire un objet présentant des reliefs, on en fait un moule, en alliage fusible. Dans l'un et l'autre cas il convient, pour empêcher la couche d'argent d'adhérer au moule, de commencer l'électro-déposition avec une densité de courant très grande.

J. R.

CONDUCTIBILITÉ

Sur les conductibilités de certains milieux hétérogènes pour un flux constant ayant un potentiel, par **C. H. Lees**. *Phil. Mag.*, t. XLIX, p. 221, févr. 1900.

L'auteur considère le cas d'un milieu composé de prismes infiniment longs de section carrée, dont les conductibilités sont k_1 et k_2, et qui

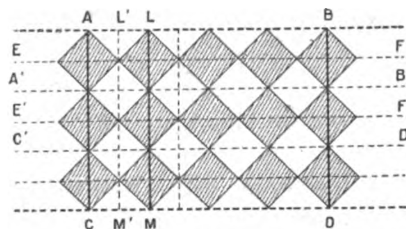


Fig. 1.

sont disposés comme l'indique la figure 1. Ces prismes sont supposés limités par deux plans équipotentiels AB, CD (1).

L'auteur suppose que les flux et les potentiels sont continus aux surfaces de séparation des deux milieux.

Par raison de symétrie, A'B', C'D', EF, E'F', etc., sont des plans équipotentiels; de même, AC, BD, LM, L'M', etc., sont des lignes de flux.

On est donc amené à résoudre le problème

(1) Maxwell dans son célèbre Traité d'électricité et magnétisme donne la valeur de la conductibilité d'un milieu complexe (conduction trough heterogeneous media) constitué par un milieu dont la conductibilité est k_2 et dans lequel on a enfoncé des petites sphères dont la conductibilité est k_1 ; il suppose que ces petites sphères n'occupent qu'un très petit volume par rapport au volume du milieu dans lequel ces sphères sont plongées et que leurs distances réciproques sont suffisamment grandes pour qu'elles n'exercent pas d'action entre elles. — Un peu plus loin, il étudie encore deux cas intéressants : 1° Le milieu complexe est constitué par deux milieux séparés par des plans parallèles ou perpendiculaires aux surfaces équipotentielles : 2° Le milieu est constitué par des prismes droits de section rectangulaire dont l'un des côtés est infiniment plus grand que l'autre et dont les hauteurs sont infiniment plus grandes que le plus grand côté de la section de base. Ces dernières conditions relatives aux trois dimensions des prismes sont nécessaires pour que la diffusion des lignes de flux au voisinage des arêtes du prisme puisse être négligée dans les calculs.

Ces trois cas, bien que d'un intérêt considérable, n'ont qu'une application très limitée à cause des restrictions introduites pour pouvoir effectuer les calculs.

suivant : trouver la conductibilité d'un prisme de section carrée A'B'C'D' (fig. 2) où A'D' et B'C' sont des surfaces équipotentielles, A'B' et D'C' des lignes de flux, et où la conductibilité de A'B'C' est k_1 est celle de A'D'C' est k_2.

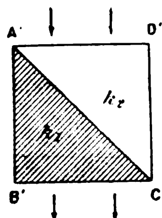


Fig. 2.

Si v_1 et v_2 désignent respectivement les potentiels dans ces deux milieux de conductibilités différentes, chacun de ces potentiels satisfait à l'équation générale,

$$\frac{\partial^2 v}{\partial x} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} = 0;$$

v_1 devient constant le long de A'D' et le flux le long de D'C' est nul ; v_2 est constant le long de B'C' et le flux le long de A'B' est également nul ; maintenant, le long de A'C', $v_1 = v_2$ et les flux correspondants sont égaux.

On pourrait construire ces deux fonctions v_1 et v_2 satisfaisant aux conditions que nous venons d'énumérer en employant la méthode de Riemann [1] mais l'auteur préfère employer la méthode suivante qui, par un simple changement de coordonnées ramène le problème à un autre dont la solution est connue.

Soit AC (fig. 3) la ligne de séparation de deux milieux de conductibilité k_1 et k_2 et soit AD une ligne équipotentielle et DC une ligne de flux dans le milieu de conductibilité k_1. Supposons maintenant que le rapport $\frac{k_1}{k_2}$ soit tel que AB, la ligne de flux dans le second milieu passant par le point A, fasse avec AC le même angle que AD fait avec la même ligne. Alors si CB est la ligne équipotentielle dans le second milieu passant par C, les triangles ABC et ADC sont égaux.

Soit z la coordonnée vectorielle d'un point situé dans le plan de la figure 3 et z' la coordonnée vectorielle d'un point de la figure 2. Il est possible par la transformation $z' = f(z)$ de convertir le triangle rectangle ADC dans le plan le plan des z en un triangle A'D'C' dans le plan

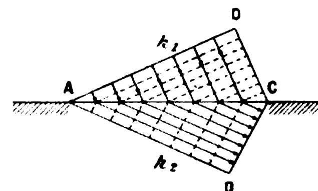


Fig. 3.

des z'. Par le même artifice on transformera le triangle ABC qui est dans le plan des z en un autre A'B'C' dans le plan des z'. Finalement le quadrilatère ABCD se convertit en A'B'C'D' et la différence de potentiel ou la quantité de flux entre deux points quelconques de ABCD sont identiques aux mêmes quantités pour les points correspondants du quadrilatère A'B'C'D'.

Si V est la différence de potentiel entre A et C (fig. 3) et si AC $= a$, le flux limité par les lignes de flux DC et AB a pour valeur

$$k_1 \frac{a \cos \theta . V}{a \sin \theta} = k_1 V \cot \theta , \quad \text{où } \widehat{DAC} = \theta.$$

Il en résulte que le flux limité par les lignes de flux D'C', A'B' (fig. 2) aura la même valeur $k_1 v \cot \theta$.

Si k est la conductibilité apparente du carré le flux limité par les lignes de flux D'C' et A'B' est égal à kV, d'où,

$$k_1 V \cot \theta = kV \text{ ou } k = k_1 \cot \theta.$$

Maintenant, dans la figure 3, puisque le flux est continu à travers AC,

$$k_1 \cot \widehat{DAC} = k_2 \cot \widehat{BCA}$$

et de même

$$\widehat{BAC} = \widehat{DAC}$$

Donc

$$k_1 \cot \theta = k_2 \tan \theta$$

d'où

$$\cot \theta = \sqrt{\frac{k_2}{k_1}} .$$

La conductibilité apparente du carré est donc

$$k = \sqrt{k_1 k_2} .$$

[1] Partielle Differentialgleichungen, Abschritt IV, Bewegung der Warme.

Si maintenant, ce milieu constitué par deux milieux de conductibités différentes k_1 et k_2, est supposé homogène, et combiné de sorte qu'il constitue au moyen du milieu k_1 le milieu indiqué par la figure 1, la conductibilité k' de ce nouveau milieu sera

$$k' = \sqrt{kk_1} = \sqrt[4]{k_1^3 k_2}.$$

En continuant ainsi à combiner des nouveaux milieux avec les anciens dont on connaît la conductibilité, on déduit que si un volume p d'un milieu de conductibilité k_1 est combiné avec un volume $1-p$ d'un second milieu de conductibilité k_2, la conductibilité k de cette combinaison satisfait à l'équation

$$k = k_1^{p_1} k_2^{(1-p_1)};$$

ou encore

$$\log k = \log k_2 + p_1 \log \frac{k_1}{k_2}.$$

C'est-à-dire que, pour le mélange considéré, les logarithmes des conductibilités pour les flux parallèles aux diagonales de la figure 1 suivent la loi de la moyenne proportionnelle.

Si ρ est la résistivité du milieu considéré, alors

$$\log k = -\log \rho$$

donc,

$$\log \rho = \log \rho_2 + p_1 \log \frac{\rho_1}{\rho_2}.$$

C'est une relation entre la résistivité d'un mélange et les résistivités et les volumes respectifs de ses constituants.

Maintenant, si plus de deux milieux sont en présence, occupant des volumes $p_1, p_2, p_3, \ldots$ par centimètre cube de mélange, on a,

$$k = k_1^{p_1} - k_2^{p_2} - k_3^{p_3} \ldots\ldots$$

A la fin de sa note l'auteur communique des dessins qui indiquent la distribution des lignes équipotentielles et des lignes de flux dans des milieux complexes de constitution différente.

Eugène Néculcéa.

Influence de la température sur la conductibilité électrique des amalgames., par **A. Larsen**. *Drudes Annal.*, t. I, p. 123-132.

L'auteur compare la résistance des amalgames maintenus à diverses températures à la résistance du mercure maintenu à température constante, par la méthode de Kirchhoff (emploi du galvanomètre différentiel). La conductibilité des amalgames de plomb, de zinc, de cadmium, d'étain, de bismuth varie à peu près de la même manière. Elle croît à peu près proportionnellement à la température et le coefficient de variation croît avec la richesse de l'amalgame.

M. L.

Sur le phénomène de Sanford dans l'argentan, par **E. Drago**. *Il nuovo cimento*, t. X, p. 447.

L'influence du diélectrique environnant un fil de cuivre sur sa conductibilité a été affirmé par Sanford [1] puis par Grimaldi et Plantania. [2] Carhart [3] puis Merill [4] l'ont niée.

L'auteur a expérimenté sur l'argentan et déduit des résultats ou que le phénomène n'existe pas pour l'argentan, ou s'il existe, qu'il est assez petit pour ne pouvoir être apprécié avec les méthodes d'observation employées.

Sanford a d'ailleurs récemment annoncé qu'il n'avait observé aucun changement avec le diélectrique environnant un fil d'argentan.

G. G.

Influence de la pression sur la résistance électrique des métaux, par **S. Lussana**. *Il nuovo cimento*, t. X, p. 73, août 1899.

R. Lorenz avait observé que la résistance du mercure diminue de 0,02 p. 100 pour une augmentation de une atmosphère jusqu'à 60; A. de Forest Palmer et C. Barus ont trouvé un coefficient beaucoup plus petit. Ce sont là les seuls résultats dignes d'être notés qui aient été obtenus sur ce sujet.

Les fils employés par l'auteur étaient enroulés en double spirale sur un cylindre d'ébonite suivant deux hélices parallèles. Le cylindre était plongé dans l'huile et la température en était indiquée par un couple thermo-électrique cuivre-packfong, le tout placé dans un bloc-laboratoire Cailletet. La mesure de la résistance était

(1) Sandford, 1892 et *Physical Review*, t. III, nov.-déc. 1895.

(2) Grimaldi et Platania, *Atti dell' Acc. de Catane*, t. VIII, s. iv.

(3) Carhart, *The Physical Review*, t. I, p. 321, t. II, p. 61 et 67.

(4) Merill, *The Physical Review*, t. VIII, p. 112, 1899.

faite par la méthode du pont de Wheatstone, et on laissait toujours s'écouler au moins une heure après le changement de la pression avant de faire la mesure de la résistance ; les résultats étaient néanmoins corrigés des différences inévitables de la température à l'aide du coefficient de température de la résistance en essai. L'auteur n'ayant pas la possibilité de tenir compte dans toutes ses expériences de la variation de volume, puisque les coefficients de compressibilite connus ne sont pas nombreux, a négligé la correction correspondante.

Voici à titre d'exemple les chiffres donnés par M. Lussana pour le nickel et le plomb ; ce sont les chiffres extrêmes obtenus pour les métaux purs étudiés, c'est-à-dire, avec les précédents, le platine, l'argent, le cuivre et le fer.

NICKEL fil de 0,8 mm.		VARIATION moyenne de l'unité de résistance pour une atmosphère	PLOMB fil de 1,08° mm.		VARIATION moyenne
Pression en atm.	Résistance en ohms		Pression en atm.	Résistance en ohms	
1	0,48087	19×10^{-7}	1	0,39668	194×10^{-7}
100	78	19	100	591	199
190	70	19	200	512	200
395	52	15	400	353	166
600	37	10	590	225	105
780	28	9	790	145	89
1 000	18	6	990	074	90
900	21	8	900	106	86
710	29	10	700	174	137
510	39	19	500	283	190
310	57	20	305	430	198
1	86		1	669	

La résistance des métaux diminue toujours lorsque la pression augmente ; la diminution n'est pas proportionnelle à la pression, elle semble tendre vers une limite. Si on laisse s'écouler un temps suffisant après que la variation de pression a été produite, la résistance est la même à une pression déterminée, soit pour les pressions croissantes, soit pour les décroissantes.

Les valeurs de la variation de l'unité de résistance pour une variation de pression de 1 atmosphère sont plus petites pour les alliages que pour les métaux purs ; ainsi pour la manganine on a les résultats suivants :

MANGANINE, FIL DE 0,19 MM.

Pression en atmosph.	Résistance en ohms	Variation de l'unité de résistance pour une atmosphère
1	23,2097	$5,6 \times 10^{-7}$
100	84	3,9
200	75	2,5
390	64	1,9
590	55	1,9
770	47	1,2
805	46	2,4
985	36	2,0
900	40	2,4
700	51	1,7
500	59	1,9
300	68	4,5
1	99	

Si l'on compare les valeurs de $\frac{\Delta R}{R}$ pour la pression et pour la température, quand $\frac{\Delta v}{v}$ est le même, on voit que en général l'effet dû à la pression est moindre que celui de la température. Les variations de pression et de température produisent donc indépendamment des variations dans la distance des molécules, des altérations caractéristiques dans l'état moléculaire.

L'auteur a en outre observé que la résistance d'un fil est fortement diminuée dès qu'il est soumis à une augmentation de courte durée de la pression et inversement ; la variation décroît rapidement et la résistance revient peu à peu vers sa valeur primitive, sans cependant l'atteindre. Il s'en suit qu'une action mécanique produit sur la résistance deux sortes d'altération bien distinctes ; l'une forte et temporaire, l'autre beaucoup plus faible mais permanente. La disparition de l'altération temporaire exige d'autant plus de temps que la déformation qui l'a produite dure elle-même plus longtemps.

Mais si le fil reste soumis pendant un temps assez long à une forte pression, et que celle-ci vienne à cesser brusquement le phénomène change : la résistance d'abord très forte s'abaisse jusqu'à une valeur inférieure à celle qui correspond à l'état d'équilibre puis remonte ensuite vers cette valeur. Si au contraire le fil au repos est porté rapidement et maintenu à une pression élevée, la résistance passe par un maximum.

Il semble que l'on puisse déduire de ces résultats que lorsqu'un fil est assujetti à une brusque variation de pression, il subit une variation de volume dans le même sens, mais qui est plus forte que celle qui correspond à l'état d'équilibre, à

laquelle il ne parvient qu'après un certain nombre d'oscillations très lentes et rapidement amorties. G. Goisot.

Influence de la pression sur la conductibilité des électrolytes par **Trammann**. *Wied. Ann.*, t. LXIX, p. 767-780 (¹).

La conductibilité électrique d'un électrolyte est proportionnelle au nombre des ions qui existent dans l'unité de volume et inversement proportionnelle au frottement des ions.

Une variation de la pression extérieure doit donc entraîner une variation de la conductibilité électrique pour trois raisons. 1° Une augmentation de pression diminue le volume et par suite augmente le nombre d'ions par unité de volume, 2° elle fait varier la viscosité de la dissolution et par suite, dans le même sens, le frottement des ions, 3° elle doit faire varier le degré de dissociation de l'électrolyte.

D'après les expériences de Cohen sur l'eau et sur les dissolutions de chlorure de sodium, la viscosité η des dissolutions varie à partir de la pression ordinaire comme celle du dissolvant à partir de pressions plus élevées. Ainsi par exemple, pour une dissolution de chlorure de sodium à 4 p. 100, la durée de l'écoulement à 1° diminue de 1,1 p. 100 quand on élève la pression de 1 à 200 atmosphères : pour l'eau, elle diminue de 1,2 p. 100 quand on élève la pression de 432 à 632 atmosphères.

La variation de la constante de dissociation k en fonction de la pression extérieure p est donnée par la formule de Planck :

$$\frac{d \log k}{dp} = \frac{\Delta v}{1000\, RT}$$

Dans les électrolytes faiblement dissociés, entre les concentrations comprises entre 1 molécule par litre et 1 molécule par 1000 litres, la pression a une influence très notable sur le degré de dissociation et cette influence varie peu avec la concentration.

Dans les électrolytes fortement dissociés, la pression n'a pas grande influence sur le degré de dissociation. Lorsque les dissolutions sont très étendues, c'est-à-dire que l'électrolyte est entièrement dissocié en ions, la variation de la conductibilité ne peut résulter d'un changement dans le degré de dissociation, mais seulement des deux premières causes : la variation observée doit être égale à la somme de ces deux variations partiellles : c'est en effet ce qu'on peut déduire des expériences de Röntgen.

Pour les concentrations plus grandes, les trois causes interviennent et on obtient alors trois genres de variation, représentées par les courbes de la figure 1, suivant la nature de l'électrolyte.

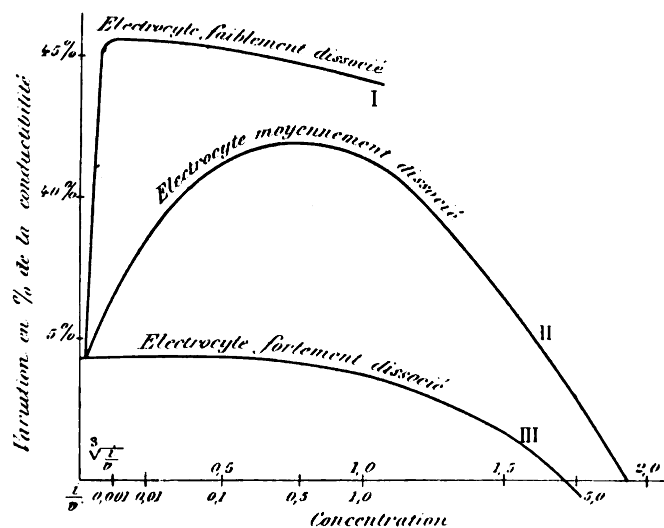


Fig. 1.

La première de ces courbes (I) coïncide presque exactement avec la courbe obtenue par Fanjung en expérimentant sur l'acide acétique : la courbe (III), avec celle qu'a obtenue Röntgen pour le chlorure de potassium et le chlorure de sodium : la courbe II est celle qui d'après ce dernier auteur représente le phénomène dans le cas du sulfate de zinc.

Inversement, il est possible de conclure à la variation de la pression intérieure avec la concentration quand on connaît la variation de la conductibilité électrique avec la pression.

Lorsque le nombre des ions du corps dissous est petit et que par suite le degré de dissociation α_1 du dissolvant devient comparable à celui du corps dissous α, il y aura lieu aussi de tenir compte de l'influence de la pression extérieure sur le degré de dissociation du dissolvant.

La variation totale de la conductibilité λ sera ainsi représentée par :

$$\frac{1}{\lambda}\frac{\Delta\lambda}{\Delta p} = -\frac{1}{v}\frac{\Delta v}{\Delta p} + \frac{1}{\eta_1}\frac{\Delta\eta_1}{\Delta p} + \frac{1}{\alpha}\frac{\Delta\alpha}{\Delta p} + \frac{1}{\alpha'}\frac{\Delta\alpha'}{\Delta p}.$$

(¹) Cf. *Zeitsch. für ph. Chemie*, t. XVII, p. 725, 1895. XXVII, p. 457, 1898.

Quand la concentration descend au-dessous de 0,01 mol. par litre, on peut prendre la variation de volume de la dissolution égale à celle du dissolvant. De même au dessous de cette limite, les variations de la viscosité, quoique n'étant pas identiques peuvent être regardées comme égales au présent point de vue.

L'influence de la pression sur le degré de dissociation se calcule par la formule de Planck reproduite ci-dessus.

Les calculs et les expériences effectués sur l'acide acétique et les trois acides chloracétiques présententun accord satisfaisant. L'influence de la pression sur la conductibilité passe par un maximum pour une concentration déterminée, comme le prévoit la théorie.

Les résultats obtenus sur l'ammoniaque vérifient aussi la formule de Planck relativement à la relation entre le degré de dissociation et la variation de la conductibilité par la pression.

D'après les expériences de Röntgen, qui a étudié l'influence de la pression sur la conductibilité des dissolutions étendues jusqu'à 0,001 mol. par litre, toutes les courbes qui représentent la variation de la conductibilité en fonction de la concentration, convergent vers un point de l'axe des ordonnées.

L'ordonnée de ce point est égale à la somme des variations partielles dues à l'action de la pression d'une part sur la concentration, d'autre part sur la viscosité. Mais il faut remarquer que jusqu'à cette limite de dilution (0,001 mol.), la dissociation de l'eau elle-même n'intervient pas. Or l'influence de la pression sur la conductibilité de l'eau est très notable, causée peut-être d'ailleurs par la présence du gaz carbonique.

La conductibilité des dissolutions très étendues de K *cl* et de H *cl* est d'autant plus influencée par la pression que la dilution est plus grande : mais il peut se présenter dans certains cas un minimum de variation.

Ce qui est dit ci-dessus s'applique à des ions monovalents : si la dissolution renferme des ions plurivalents, on s'attend à ce que la variation de la conductibilité soit deux, trois... fois plus grande que pour les ions monovalents, comme la variation de volume elle-même. Si l'électrolyte est fortement dissocié et en dissolution concentrée, l'influence de la pression est pratiquement nulle.

Dans les acides faiblement dissociés, acide tartrique (bibasique), citrique et phosphorique (tribasiques), l'influence de la pression sur la conductibilité n'est pas plus grande que dans l'acide acétique (monobasique) : ceci semble indiquer que la dissociation électrolytique ne porte que sur l'un des groupes OH, ou tout au moins, la quantité d'ions séparée d'un de ces groupes est cent fois, et plus, supérieure à la quantité d'ions séparée des autres.

Tammann a étendu les expériences sur la variation avec la pression tant de la conductibilité que du volume et de la viscosité aux pressions très élevées entre 1000 et 3600 atmosphères.

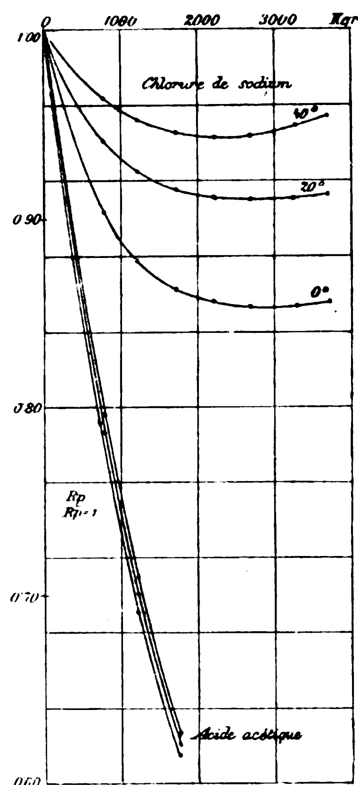


Fig. 2.

La figure 2 reproduit les courbes qui représentent la variation de la conductibilité d'une dissolution 1/10 normale de chlorure de sodium et d'une dissolution d'acide acétique de même concentration : les allures des courbes sont très différentes dans les deux cas. La température a peu d'influence sur le phénomène dans l'acide acétique : au contraire, les courbes du chlorure de sodium relatives aux différentes températures s'écartent notablement l'une de l'autre.

L'influence de la pression sur la dissociation du chlorure de sodium est à peu près nulle et la variation de conductibilité résulte du changement du volume et de la viscosité provoquée par la pression.

La variation du frottement intérieur en fonction de la pression est représentée pour plusieurs températures par les courbes de la figure 3. Les minima y sont plus accusés que sur les courbes

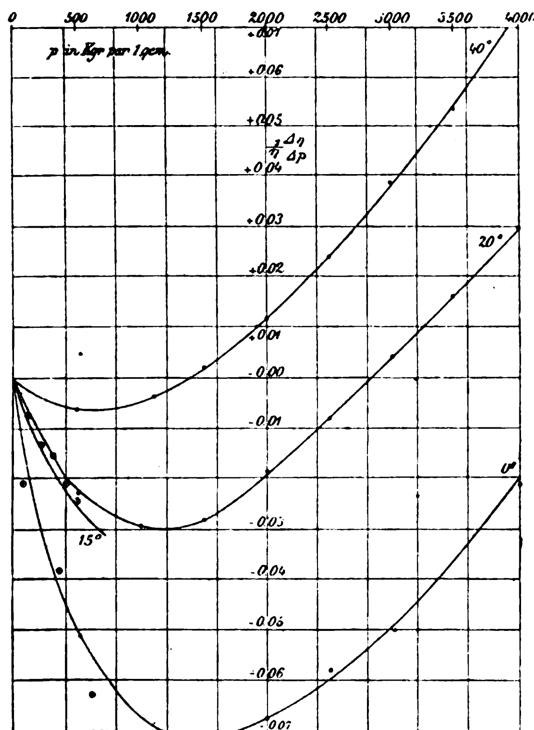


Fig. 3.

de conductibilité : sur le même diagramme, on a indiqué aussi les points correspondants à la viscosité de l'eau : on voit que les isothermes relatives au frottement intérieur des ions représentent aussi la viscosité de l'eau.

Admettons que les volumes des dissolutions de chlorure de sodium et d'acide acétique, 1/10 normales varient avec la pression comme le volume de l'eau pure, et que le frottement intérieur des ions varie de la même manière dans ces deux dissolutions.

Nous pourrons obtenir alors l'influence de la pression sur le degré de dissociation de l'acide acétique en retranchant l'une de l'autre les variations relatives de la résistance du chlorure de sodium et de l'acide acétique qui correspondent à la même pression. La variation peut, d'autre part, se calculer par la formule de Plank.

Les résultats ne concordent que pour la température d'environ 20° : à 0° les nombres observés sont plus petits que les nombres calculés ; à 40° c'est l'inverse.

Sous la pression de 3600 kg, l'acide acétique renferme sous le même volume un nombre d'ions double du nombre qui correspond à la pression ordinaire. Cette influence de la pression sur la dissociation électrolytique des électrolytes faibles et par suite sur les conditions des équilibres chimiques joue peut-être un rôle dans les phénomènes qui se passent dans les profondeurs des mers. Ainsi à 5000 m de profondeur, le degré de dissociation de l'acide carbonique dissous serait 1,4 fois plus grand qu'à la surface : à 10 000 m, il serait 1,7 fois plus grand. Telle est peut-être la raison pour laquelle on ne trouve de dépôts de carbonate de calcium que jusqu'à environ 5000 m de profondeur.

M. L.

Sur la résistance des solutions salines en mouvement, par **A. Amerio.** *Il Nuovo Cimento.* t. X, p. 276, octobre 1899.

Le D[r] Italo Bosi a donné les résultats suivants [1] :

Le mouvement modifie la résistance des solutions salines, la variation est faible. Les solutions pour lesquelles il y a concentration au pôle positif ont leur résistance augmentée si le liquide se meut en sens contraire du courant et inversement. S'il y a concentration au pôle négatif la résistance augmente quand le mouvement du liquide et le courant sont de même sens et inversement ; l'augmentation est dans les deux cas supérieure à la diminution. La résistance ne varie pas sensiblement dans le cas de l'électrolyse normale.

Pour le professeur E. H. Hall de Cambridge [2] l'influence du mouvement doit être bien moindre que celle trouvée précédemment ; les expériences qu'il a exécutées ne lui ont pas donné de résultats positifs.

Le D[r] Amerio remarque au contraire que si les expériences de Bosi ne peuvent pas être

(1) Bosi. *Il Nuovo Cimento*, t. V, p. 249, 1897. *L'Éclairage Électrique*, t. XIII, p. 522, 1897.

(2) *Physical Review*, t. VII, p. 246, 1898.

critiquées, les conclusions qu'il en a tirées ne sont pas nécessaires. Les solutions employées par Bosi étaient celles de sulfate de zinc à 1 p. 100, sulfate de cuivre à 5 p. 100, sulfate de potassium à 8 p. 100, azotate de sodium à 10 p. 100 et chlorate de potassium à 4 p. 100, la conductivité de ces électrolytes croît avec la concentration.

Si la concentration a lieu à l'anode et si le mouvement est dans le sens du courant, il rend la colonne étudiée plus concentrée qu'en cas de repos, d'où diminution de résistance ; si la concentration se produit à la cathode, la colonne étudiée sera diluée, d'où augmentation de résistance. Enfin si la concentration ne varie pas l'influence du mouvement sera nulle.

Observations analogues si le mouvement et le courant sont de sens contraire.

G. G.

Transmission de l'électricité par l'air chaud, par **Khessin**. *Soc. Ph. Ch. Russe*, t. XXXI. p. 6.

Pour mesurer la conductivité de l'air chaud, l'auteur emploie un tube de porcelaine contenant deux disques de platine qui servent d'électrodes ; une est en communication avec un pôle d'une batterie dont l'autre pôle est à la terre. Le courant se divise en deux, une partie retourne à la batterie par l'air chaud du tube (chauffé au-delà de 1 000° par une hélice de platine), le reste se diffuse à la terre à travers l'air ambiant.

Employant un galvanomètre très sensible, M. Khessin a observé que l'air commence à laisser passer le courant à 550°. Sa conductibilité augmente rapidement quand la température s'élève, mais diminue quand on fait croître la force électromotrice. Le maximum de conductibilité correspond à une distance de 2 mm. entre les électrodes. A distance moindre, le courant dérivé diminue en tendant vers zéro. G. G.

MAGNÉTO-OPTIQUE

Réciprocité dans les phénomènes magnéto-optiques, par **O.-M. Corbino**. *Il Nuovo Cimento*, t. X, p. 408.

Fitzgerald [1] et Gray [2] ont prévu la possibilité de créer un champ magnétique par la propagation d'un rayon circulaire dans un milieu absorbant et ont cru vérifier ce fait expérimentalement. Righi [1] a au contraire montré par ses expériences antérieures et par d'autres plus récentes que la vérification ne peut être faite avec les moyens dont nous disposons.

(1) *Nature*, 5 janvier 1899, p. 222.

(2) *Nature*, 16 février 1899, p. 367.

L'effet Sheldon [2], c'est-à-dire la création d'un champ magnétique par le moyen d'un faisceau de lumière à plan de polarisation tournant, revient ainsi en question. A celle-ci se rattache la suivante : Etant donnée l'action exercée par un milieu transparent se trouvant dans un champ magnétique sur la lumière polarisée qui le traverse, existe-t-il une réaction de la lumière sur le milieu aimanté telle qu'elle modifie même légèrement l'intensité du champ ?

M. Corbino a entrepris différentes expériences dans le but de traiter ce dernier sujet et de vérifier l'effet Sheldon. Les résultats sont complètement négatifs.

Si la lumière convenablement polarisé peut créer un champ magnétique en traversant un milieu absorbant, il semble naturel qu'elle puisse modifier l'intensité d'un champ préexistant, lorsque ce milieu est déjà aimanté. L'auteur, pour vérifier ce dernier point, a employé trois dispositions expérimentales.

1° Dans une bobine de Ruhmkorff de grande dimension, le primaire et le noyau sont remplacés par un tube de verre rempli d'eau et entouré de cinq couches de fil qui peut supporter pendant quelques minutes un courant de 14 A. Les extrémités du secondaire sont reliées, l'une au sol l'autre à une paire de quadrants d'un électromètre dont l'autre paire et l'aiguille sont au sol, avec la cage enveloppe ; l'appareil dépourvu d'amortisseur permet d'apprécier 1/100 de volt.

Interrompant la communication avec l'électromètre, on fait passer un courant de 14 A. dans le primaire, quand il est coupé, on rétablit la communication, l'aiguille reste immobile.

On envoie alors dans le tube un faisceau de lumière polarisée rectilignement ou circulairement et interrompu 300 fois par seconde. Si l'illumination apportait des modifications dans

(1) *Rend. Lincei*. p. 325, 1899. *L'Écl. Électrique* ?

(2) *The American Journal of Science*, t. XC, p. 196, 1899.

l'intensité du champ magnétique, il se produirait une f. é. m. périodiquement variable au pôle isolé du secondaire. L'aiguille reste au contraire immobile. La sensibilité de la méthode permettrait d'apprécier un variation du champ de $\frac{1}{10\,000}$ de sa valeur primitive.

2° Un parallélépipède de flint entouré d'une bobine est disposé entre les pôles creux d'un grand électro-aimant. La bobine est reliée à un galvanomètre balistique, la résistance de ce circuit est de 40 ohms. Une déviation de 4 divisions correspond à une variation de $\frac{1}{125\,000}$ de la valeur primitive du champ, il résulte de cette grande sensibilité un faible mouvement oscillatoire. Si l'on envoie dans le parallélépipède un faisceau de lumière solaire polarisée rectilignement ou circulairement, on ne constate aucune variation dans les excursions de l'aiguille, tandis qu'une variation du champ de $\frac{1}{100\,000}$ de sa valeur produirait une perturbation très nette.

3° Dans la même expérience le faisceau est interrompu périodiquement. Les extrémités de la petite bobine sont reliées à la bobine intérieure d'un gros Ruhmkorff dont les extrémités du secondaire sont reliées l'une au sol, l'autre à une couple de quadrants d'un électromètre. Ce dispositif est pour les très faibles courants alternés plus sensible que le téléphone ; ainsi une corde métallique tendue sur le sonomètre et reliée au primaire, vibrant transversalement dans le faible champ résiduel de l'électro donne une déviation de 15 divisions, tandis que le téléphone ne ferait dans ce cas entendre aucun son. La sensibilité est de $\frac{1}{50\,000}$; elle est moindre que la précédente, mais les résultats ont plus d'intérêt par suite de l'immobilité de l'aiguille.

Sheldon, dans le but de démontrer la production d'un champ magnétique autour d'un rayon de lumière à plan de polarisation tournant, a employé un faisceau lumineux réfléchi par un petit miroir sous l'angle de polarisation et traversant un solénoïde. Le miroir exécutait 300 oscillations par seconde autour d'un axe convenablement orienté ; le solénoïde était relié à un téléphone, où l'on percevait un son attribué aux courants induits par l'alternance du champ magnétique engendré.

Gray [1] a objecté que le son produit pouvait être dû à des actions photophoniques résultant des inévitables déplacements du rayon réfléchi pendant les oscillations du miroir.

Le phénomène annoncé par Sheldon sera évidemment d'autant plus facile à constater que le nombre de tours exécutés par seconde par le plan de polarisation sera plus grand. M. Corbino par le dispositif optique suivant parvient à obtenir 2 millions de tours par seconde.

La lumière provenant d'une lentille cylindrique étroite est polarisée horizontalement et reçue sur un biprisme de Fresnel, auquel sont adossées les deux moitiés d'une lame quart d'onde de Bravais, de façon à avoir deux images virtuelles conjuguées de la source, polarisées circulairement en sens inverse.

Le faisceau émergent est réfléchi à l'incidence presque normale par un petit miroir qui accomplit 50 tours par seconde ; ce faisceau à plan de polarisation tournant à raison de 2 millions de tours par seconde traverse une bobine à très long enroulement, dans l'axe de laquelle est un tube de verre rempli de sulfure de carbone. Le miroir est mis en rotation par un mouvement d'horlogerie, la bobine est reliée à un électromètre Mascart rendu idiostatique ou à un téléphone.

L'auteur n'a jamais perçu trace de son au téléphone, ni observé de déviation à l'électromètre ; or l'effet devrait être 6000 fois plus fort que celui trouvé par Sheldon. M. Corbino en conclut que l'effet observé doit être dû à ces causes perturbatrices. Il est néanmoins à regretter que l'expérience de Sheldon n'ait pas été reprise au moins dans des *conditions analogues*, afin que l'on puisse se rendre compte de la nature de ces causes perturbatrices.

G. Goisot.

[1] *Philos. Mag.* p. 494, décembre 1890.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

ACADÉMIE DES SCIENCES

Séance du 5 juin 1900

Sur l'état électrique d'un résonateur de Hertz en activité, par A. **Turpain.** *Comptes rendus* t. CXXX, p. 1541-1544.

De nombreuses expériences ont établi que la longueur d'un résonateur circulaire est égale à la demi longueur d'onde des oscillations qui l'excitent. M. Turpain ayant, au cours des recherches qu'il poursuit depuis plusieurs années (1), observé quelques faits lui paraissant difficilement conciliables (2) avec les conséquences que l'on est en droit de déduire de cette relation, s'est trouvé conduit à imaginer un nouveau dispositif permettant de se rendre compte au même instant de l'état électrique d'un résonateur hertzien.

Tout le résonateur, sauf le micromètre, est renfermé dans un tube de verre de forme circulaire dans lequel on raréfie l'air suffisamment pour permettre au conducteur du résonateur de produire la luminescence de cet air raréfié. Si la raréfaction est convenable, le résonateur décèle les états électriques qui se succèdent le long de l'arc conducteur qu'il forme par la luminescence que ce conducteur produit aux divers points du tube. La luminescence ainsi produite peint aux yeux par son éclat plus ou moins vif, plus ou moins estompé, l'état électrique des divers points du résonateur en activité qui la produit.

Il était à craindre, dans l'emploi de ce dispositif, que la luminescence de la gaine gazeuse qui enserre le résonateur ne soit produite par les fils mêmes qui concentrent le champ, au lieu de provenir de la seule action du conducteur qui forme le résonateur. La luminescence est seulement produite par le résonateur, car le tube de verre circulaire privé du conducteur et disposé dans les mêmes conditions ne devient pas lumi-

(1) Voir *L'Éclairage Électrique*, t. XVII, p. 72 et 73, 3 octobre 1898 ; t. XVIII, p. 312, 25 février 1899 ; t. XXI, p. 11 et 105, 7 octobre et 25 novembre 1899.

(2) *Résonateur complet.* — Un résonateur disposé dans un plan perpendiculaire aux fils qui concentrent le champ et déplacé dans son plan manifeste un maximum de longueur d'étincelle au micromètre lorsque le rayon qui passe par le micromètre est perpendiculaire au plan des deux fils tendus (azimuts 0° et 180°). On observe un minimum sensiblement nul lorsque ce rayon est dans le plan des fils (azimuts 90 et 270°).

Résonateur à quatre micromètres. — En utilisant un résonateur à quatre micromètres disposés aux extrémités de deux diamètres perpendiculaires on constate que les deux micromètres situés dans les azimuts 0° et 180° vibrent, alors que les deux autres micromètres sont éteints. Une rotation du résonateur de 90° dans son plan rend actifs les micromètres éteints et réciproquement.

Si l'on déduit l'état électrique des divers points d'un résonateur de la mesure des étincelles au micromètre lorsqu'on déplace le résonateur dans son plan, on est donc conduit à la conclusion suivante : *Le résonateur présente deux ventres de vibration diamétralement opposés, situés dans les azimuts* 0° et 180°, *et deux nœuds situés dans les azimuts* 90 *et* 270°.

Cette conclusion ne s'accorde pas avec la loi expérimentale qui indique que, abstraction faite de la perturbation micrométrique, la longueur du résonateur est égale à la demi-longueur d'onde des oscillations qui l'excitent. De plus, la symétrie s'oppose à ce que les ventres diamétralement opposés du résonateur soient de signes contraires. La distribution des ventres et des nœuds le long du résonateur s'explique dès lors difficilement.

Résonateur à coupure mobile. — Ce résonateur est construit de manière à rendre aisément variable l'angle que fait le rayon qui passe par le milieu de la coupure avec le rayon qui passe par le micromètre. La distance explosive maxima de l'étincelle du micromètre décroît progressivement lorsque le micromètre se rapproche de la coupure, celle-ci étant constamment maintenue dans l'azimut 180°.

Si l'on déplace le long de la tige d'un résonateur en activité une petite bobine de fil fin attelée à un téléphone, le bruit entendu dans le téléphone pendant le déplacement, relativement faible lorsque la bobine investigatrice est voisine de la coupure, croît lorsque la bobine se rapproche du point du résonateur le plus éloigné de la coupure.

Le résonateur à coupure se présente donc comme ayant un nœud de vibration à chaque extrémité limitant la coupure et un ventre au point diamétralement opposé à la coupure.

Cette conclusion, en désaccord avec la première, ne s'accorde pas non plus avec le fait que, si l'on diminue la longueur de la coupure jusqu'à permettre l'explosion d'une étincelle entre ses deux extrémités, on y obtient des étincelles de longueur maxima.

neux, bien que l'air y soit raréfié au même degré qu'auparavant.

M. Turpain a fait les observations suivantes :

« Résonateur complet. — Le micromètre est dans un des deux azimuts de maximum d'étincelle (0° ou 180°). La luminescence ne se produit pas tant que le micromètre est fermé. Dès qu'il est ouvert, elle se produit, très faible, aux environs immédiats des pôles du micromètre ; elle est nulle dans toute autre région. La luminescence se produit de part et d'autre du micromètre, le long d'arcs égaux, de plus en plus grands à mesure qu'augmente la distance explosive du micromètre. Quand les pôles du micromètre sont trop éloignés pour qu'il s'y produise des étincelles, la luminescence est maxima, elle intéresse, de part et d'autre, des arcs de 120° à 150°. La seule région qui reste obscure est la région diamétralement opposée au micromètre. La luminescence décroît d'ailleurs et s'estompe depuis le voisinage du micromètre, où elle est la plus intense, jusqu'à la région obscure. Si l'on déplace le résonateur dans son plan, le micromètre passant de l'azimut de maximum 0° à l'azimut d'extinction 90°, la luminescence accompagne le mouvement du résonateur. Les deux arcs lumineux diminuent de grandeur lorsqu'on se rapproche de l'azimut d'extinction. La luminescence cesse complètement dès qu'on atteint cet azimut.

» Résonateur a coupure : 1° *Coupure dans l'air raréfié.* — Les azimuts d'extinction et de maximum d'effet sont les mêmes que pour un résonateur à coupure dans l'air. Les maxima ont lieu lorsque la coupure est dans l'azimut 0_0 ou dans l'azimut 180°. La coupure étant disposée dans l'azimut 180° et le *micromètre étant fermé* on observe une sorte d'effluve entre les extrémités de la coupure et une luminescence assez intense le long de chaque conducteur, sur un arc de 40° à 50°. Tout le reste du résonateur est obscur. Dès qu'on ouvre le micromètre, une étincelle s'y produit, l'effluve diminue d'intensité entre les extrémités de la coupure et les arcs lumineux deviennent moins longs et moins intenses. Dès que le micromètre cesse de donner des étincelles, on n'observe plus ni effluve ni luminescence. Si l'on déplace le résonateur dans son plan, la luminescence accompagne le résonateur, et l'intensité du phénomène décroît lorsque la coupure s'approche d'un azimut d'extinction (90° ou 270°), pour lequel aucune luminescence ne persiste.

» 2° *Coupure dans l'air, les extrémités de la coupure comprises ou non dans les tubes à air raréfié.* — On observe les mêmes phénomènes que précédemment. L'effluve qui se produisait entre les extrémités de la coupure est seule absente. La luminescence intéresse de part et d'autre de la coupure des arcs plus étendus que précédemment. »

On voit que l'aspect présenté par un résonateur complet dont le micromètre est aussi ouvert que possible concorde avec l'aspect présenté par un résonateur à coupure dont le micromètre est fermé. Le premier présente une luminescence maximum au voisinage du micromètre, le second au voisinage de la coupure. Les deux appareils sont, en effet, les mêmes : ce sont deux résonateurs à coupure sans micromètre. La présence du tube à air raréfié permet, en effet, de se rendre compte du fonctionnement des appareils sans avoir à consulter les micromètres. Ces expériences expliquent que les lois du résonateur à coupure soient celles qui régissent le résonateur complet à condition de faire jouer à la coupure le rôle dévolu au micromètre du résonateur complet. Elles conduisent à la conclusion suivante : si l'on admet que la luminescence la plus intense réside aux points où la variation de la densité électrique est la plus grande, les différents aspects présentés par les résonateurs s'accordent bien avec la *distribution indiquant un nœud de vibration à chacune des extrémités d'un résonateur en activité et un ventre au point également distant des extrémités.*

Recherches sur l'existence du champ magnétique produit par le mouvement d'un corps électrisé, par **V. Crémieu.** *Comptes rendus*, t. CXXX, p. 1544-1549.

On sait que si l'on déplace un corps chargé électrostatiquement, possédant une densité superficielle σ, avec une vitesse v, il doit, d'après les idées de Maxwell, se produire tout le long de la trajectoire suivie par le corps, au moment du passage de celui-ci, les effets magnétiques d'un courant de conduction dont l'intensité peut être calculée à chaque instant par la formule

$$di = ds\sigma \frac{v}{V},$$

dans laquelle *ds* est l'élément de surface et V le rapport des unités électromagnétiques aux unités électrostatiques de quantité d'électricité.

Diverses expériences faites, les unes à Berlin, en 1876, par M. Rowland [1], les autres à Baltimore, en 1889, par MM. Rowland et Hutchinson [2], parurent confirmer cette hypothèse.

M. Lippmann ayant appliqué à l'expérience de Rowland le principe de la conservation de l'énergie, en conclut que des variations magnétiques doivent produire un mouvement des corps électrisés situés dans le voisinage et chargea M. Crémieu de vérifier cette conclusion; celui-ci n'obtint aucun résultat.

Mais comme les forces mises en jeu dans les expériences faites en vue de cette vérification n'étaient que l'ordre du millième de dyne, M. Crémieu résolut de refaire les expériences de M. Rowland.

Pour se placer dans des conditions plus favorables, au lieu d'observer comme l'avait fait Rowland, l'action directe du'un disque tournant chargé sur une aiguille aimantée, M. Crémieu a étudié les effets d'induction d'un pareil disque sur un circuit voisin. Le disque, de 37 cm de diamètre tournait entre deux couronnes de fonte distantes de 8 mm; concentriquement au disque se trouvait une bobine formée de 13,000 tours de fil de cuivre de 15 mm de diamètre; une bague montée sur l'axe du disque et un balai frottant sur cette bague permettaient de charger le disque à 5,000 volts environ; un galvanomètre très sensible était relié à la bobine; un commutateur permettait de charger et de décharger le disque plusieurs fois par seconde et de n'envoyer dans le galvanomètre que les effets dûs soit à la charge, soit à la décharge.

Dans ces conditions et avec une vitesse de rotation du disque de 100 à 120 tours par seconde la déviation galvanométrique aurait dû atteindre 25 à 50 divisions de l'échelle; or les déviations observées ne furent que de 3 à 4 divisions et sans relation de sens avec l'effet attendu; ces déviations étaient dues aux déplacements du zéro pendant la durée d'une expérience.

Aussi M. Cremieu conclut : « *Il semble donc que le mouvement d'un corps électrisé ne produit pas d'effet magnétique.* »

[1] *Pogg. Ann.*, t. CLVIII, p. 487, et *American Journal*, 1878, p. 30.

[2] *Phil. Mag.*, 5e série, t. XXVII, p. 445.

Oscillomètre balistique. — Mesure de la quantité d'électricité et de l'énergie électrique distribuées par courants continus, par **A.** et **V. Guillet**. *Comptes rendus*, t. CXXX, p. 1549-1551.

Une aiguille aimantée, légèrement déviée de sa position d'équilibre, oscille de part et d'autre de cette position avec la période

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{A}{MH}}. \qquad (1)$$

Dans le cas d'une pièce de fer doux mobile à l'intérieur d'une bobine fixe parcourue par un courant d'intensité convenable I, on a

$$MH = kI^2.$$

Il en est de même si l'on substitue au fer doux une bobine excitée par le courant I.

Dans ces deux cas, la formule (1) donne

$$IT = \text{const.}$$

Il suffit d'enregistrer le nombre des oscillations de l'organe mobile, chassé de sa position d'équilibre dès qu'il s'y rend, pour obtenir un nombre proportionnel à la quantité d'électricité fournie par la source pendant le même temps.

Ces dispositifs sont respectivement ceux des compteurs de M. Vernon-Boys (1882) et de M. Blondlot (1897).

La présence d'un radical dans la formule (1) ne permet pas de compter de la même manière l'énergie fournie.

Pour s'affranchir de cette restriction, il faut libérer l'équipage *de toute force continue* et le déplacer par impulsion.

Soit, en effet, un cadre C, de surface S et de moment d'inertie A par rapport à l'axe de rotation ZZ', placé dans un champ magnétique dont la composante *utile* est φ. En désignant par i l'intensité du courant dans le cadre à l'instant t et par τ la durée très petite de son développement, on a

$$A\omega_0 = S\varphi\int_0^\tau i\,dt,$$

ω_0 est la vitesse angulaire avec laquelle le cadre est chassé de l'*unique* position pour laquelle son circuit est fermé.

Le régime variable étant défini par l'équation

$$i = \frac{E - L\frac{di}{dt}}{R}. \qquad (2)$$

la vitesse angulaire de l'équipage a pour expression

$$\omega_0 = k\varphi I,$$

k étant une constante.

L'angle α est parcouru par l'équipage dans le temps

$$\theta = \frac{\alpha}{\omega_0} = \frac{k'}{\varphi I}.$$

Par suite,

$$\varphi I\theta = \text{const.} \qquad (3)$$

En conséquence, chaque fois que l'équipage parcourt l'angle α : 1° une même quantité d'électricité est fournie par la source si φ = const. ; 2° une même quantité d'énergie est fournie par la source si φ est proportionnel à E, force électromotrice d'utilisation.

On réalise le premier cas en produisant le champ au moyen d'un aimant et le second en produisant le champ au moyen d'une bobine placée en dérivation sur les bornes d'utilisation.

Pour que l'équipage se maintienne en mouvement, nous l'avons constitué, dans notre modèle d'essai, par deux contours identiques ayant une extrémité commune reliée à l'un des pôles de la source. Les deux autres extrémités a, b sont disposées de part et d'autre d'un contact fixe c relié à l'autre pôle de la source. Les fils a et b prennent, alternativement, contact sur c et chaque fois l'équipage parcourt l'angle imposé α.

Lorsque le cadre est dans le plan de symétrie, les contacts a et b sont équidistants de c.

En enregistrant le nombre des contacts, ce qui est facile, puisque l'organe compteur peut être placé sur le fil qui relie la source au vibrateur, on obtient un nombre proportionnel soit à l'énergie soit à la quantité d'électricité versée par la source dans le circuit d'utilisation.

Il est évident que l'on peut produire l'impulsion par voie d'induction. La formule de l'appareil (3) s'établit alors comme précédemment.

SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ÉLECTRICIENS

Séance du 6 juin 1900.

M. **de Lénart** présente la ***lampe à arc à courants alternatifs*** inventée par M. **Hackl** et construite par la maison Ganz de Buda-Pest. Cette lampe a été combinée de façon à remédier à l'inconvénient que présentent les arcs ordinaires à courants alternatifs, de projeter une grande partie de leur lumière en haut et de mal éclairer le sol. Cette distribution de la lumière provient de ce que les deux charbons étant creusés en cratère projettent chacun dans une direction opposée leurs rayons lumineux quand ils sont disposés verticalement. M. Hackl a donc disposé les charbons de sa lampe dans une position inclinée, de façon que les rayons projetés par les deux cratères soient tous dirigés vers le sol. Cette solution très simple permet d'employer l'arc alternatif avec autant d'économie que l'arc à courant continu.

Chaque lampe prend environ 30 volts aux bornes ; on en monte 3 en série sur un circuit à 105 volts ; une résistance inductive est montée en dérivation sur chaque lampe, ce qui rend les lampes indépendantes les unes des autres. Cette disposition a déjà été adoptée, en 1893, par la Société Westinghouse.

Le mécanisme de la lampe et son fonctionnement seront décrits ultérieurement.

M. **G. Claude** expose ***quelques idées nouvelles sur le mécanisme de l'électrolyse par les courants de retour des tramways.***

Lorsque le retour du courant des tramways électriques se fait par les rails, comme c'est le cas général avec le trôlet aérien, une partie du courant revient par le sol et suit les canalisations métalliques sur lesquelles il a produit, dans certains cas, des corrosions électrolytiques très importantes, comme on sait. On avait même craint, à un certain moment, que ces phénomènes d'électrolyse, n'arrivassent à paralyser le développement de la nouvelle industrie ; ces craintes étaient heureusement exagérées ; les applications du trôlet ont pris un développement énorme et cependant les cas d'électrolyse sont devenus de moins en moins nombreux. Cela tient à ce que les installations ont été de mieux

en mieux faites suivant des réglementations rigoureuses.

On est loin, pourtant, d'être fixé sur le mode de diffusion et d'action de ces courants vagabonds ; on admet généralement : 1° que les courants échappés des rails se concentrent dans les canalisations métalliques enfouies dans le sol qui les attirent, en quelque sorte, en raison de leur grande conductibilité ; 2° que la conductibilité du sol est purement électrolytique.

M. Claude s'applique à démontrer que cette conception n'est pas juste : le sol a une conductibilité propre, comme un conducteur métallique, en sorte que : 1° — Une faible partie seulement des courants vagabonds sont conduits par les canalisations métalliques enfouies dans le sol et, — 2° — Une partie seulement du courant passant par ces conduites produit une action électrolytique, la majeure partie passant du sol à la conduite et réciproquement, comme d'un conducteur métallique à un autre.

En effet, les mesures effectuées montrent que la résistance du conducteur formé par les rails, le sol et les conduites métalliques suit à peu près la loi d'Ohm et, d'un autre côté, tandis que les courants vagabonds atteignent 12, 15, 25 et même 33 pour 100 de l'intensité totale du courant de retour, l'intensité du courant circulant dans les conduites, est, d'après des mesures directes précises, 10 ou 20 fois plus faible ; elle n'atteint généralement que quelques dixièmes d'ampères ; ce n'est que dans un cas exceptionnel que M. Claude a constaté une intensité dépassant un ampère dans une canalisation souterraine placée immédiatement sous la voie de tramway et à une faible profondeur.

Mais il y a plus ; si l'on mesure le poids de métal de la conduite dissous par l'électrolyse, on constate qu'il ne correspond pas à celui que la théorie indique en tenant compte du nombre d'ampères-heure et des équivalents électrochimiques ; il est beaucoup plus faible ; la proportion du poids observé au poids théorique croît beaucoup plus rapidement que l'intensité du courant. Ces faits peuvent s'expliquer simplement en considérant le sol comme un conducteur métallique shunté par une cuve électrolytique. Le courant de retour se partage et ce n'est qu'à partir du moment où la force électromotrice, dépendant de l'intensité, atteint une valeur assez élevée que l'électrolyse commence à se produire ; pour éviter complètement l'électrolyse, il faudrait donc disposer les circuits de telle façon que jamais cette limite de la force électro-motrice ne soit atteinte ; des expériences complémentaires sont nécessaires pour déterminer la grandeur exacte de cette limite suivant les terrains.

Les conclusions pratiques de cette étude sont maintenant faciles à établir : dans un circuit de tramways, le courant de retour se dérive en chaque point des rails pour se diffuser dans le sol et les canalisations métalliques souterraines ; tous ces courants vagabonds se dirigent vers le ou les points où les rails sont connectés avec le second pôle de la dynamo, c'est-à-dire, aux points de jonction des rails avec les feeders de retour ; en ces points, par conséquent, l'intensité du courant entre les canalisations et les rails atteindra sa valeur maximum ; comme, d'autre part, nous avons vu que les dangers d'électrolyse augmentent très rapidement avec cette intensité, il faut multiplier les points de jonction des feeders de retour avec les rails, afin qu'en chacun de ces points l'intensité maximum à craindre soit diminuée. Cette augmentation du nombre des points de contact n'implique pas nécessairement une augmentation de la section de cuivre employée ; on peut employer au lieu d'un seul câble de retour deux câbles de section moitié moindre, ou encore un même câble portant des ramifications de moindre section qui viennent se joindre aux rails en différents points espacés les uns des autres.

G. P.

Le Gérant : C. NAUD.

Tome XXIII Samedi 16 Juin 1900. 7e Année. — N° 24.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

SOMMAIRE

Adresser tout ce qui concerne la Rédaction à M. J. BLONDIN, 171, Faubourg-Poissonnière (9e arrondissement).

NOUVELLES ET ÉCHOS

GÉNÉRATION ET DISTRIBUTION

Consommation de vapeur des machines Schmidt à vapeur surchauffée. — D'après une notice publiée par la fabrique des Machines d'Archarsleben, précédemment W. Schmidt et Cie le nombre de calories qu'il faut fournir par cheval-heure à une machine de 300 chevaux alimentée par de la vapeur à 11,5 kg. de pression, peut s'établir ainsi :

A. Une machine à triple expansion, employant de la vapeur saturée, consomme 5,5 kg. de vapeur par cheval indiqué et par heure, ce qui donne une dépense de calorique de $5,5 \times 665 = 3360$ calories, à quoi il faut ajouter pour la condensation dans la conduite 5 p. 100, soit 0,275 et une dépense de $0,275 \times 665 = 185$ calories, ce qui donne un total de 3850 calories.

B. Une machine compound avec surchauffe modérée à 240°, consomme 5,3 kg. de vapeur par cheval indiqué et par heure, soit :

$$5,3 \times (665 + 0,48 \times 50) = 3\,650 \text{ calories.}$$

C. Une machine tandem à forte surchauffe à 350° consomme 4,5 kg. de vapeur par cheval indiqué et par heure, soit :

D. Enfin, une machine tandem à forte surchauffe, système W. Schmidt, consomme 4,1 kg. de vapeur ou :

$$4,1 \times (665 + 0,48 \times 160) = 3\,042 \text{ calories.}$$

par cheval indiqué et par heure.

Si on établit la comparaison par rapport à la machine à vapeur saturée A, on trouve que la machine B avec surchauffe modérée économise 5 p. 100, et les machines C et D avec forte surchauffe 13 à 21 p. 100.

Comparées avec la machine B à surchauffe modérée, les machines C et D à forte surchauffe économisent 8, 5 et 16,7 p. 100.

Sur l'uniformisation des méthodes d'essais des appareils électriques. — Lors de la publication dans ce journal des règlements de l'American Institut of Electrical Engineers concernant les essais des machines dynamos, M.-C.-F. Guilbert faisait observer (t. XXI, p 96, 21 octobre 1899) combien il serait désirable que des règlements du même genre fussent établis en France. Sur son initiative l'Association amicale des Ingénieurs électriciens, s'est occupée de la question et a nommé des commissions chargées d'examiner ce qu'il conviendrait de retenir des instructions rédigées par l'AIEE et comment on pourrait les étendre aux divers appareils électriques non envisagés dans ces instructions. De son côté, le Syndicat professionnel des Industries électriques a nommé plusieurs délégués chargés de suivre les travaux de ces commissions.

Mais si les avantages pouvant résulter d'instructions de ce genre paraissent évidents à ceux qui ont souvent l'occasion, comme ingénieurs conseils, de rédiger des cahiers des charges, ils ne paraissent pas aussi certains à quelques constructeurs qui craignent qu'elles ne rendent encore plus draconiennes les clauses des cahiers des charges. Pour détromper ceux-ci, et bien indiquer le caractère des instructions qu'elles se propose d'établir, l'Association amicale des ingénieurs électriciens vient d'adresser aux constructeurs et ingénieurs la note suivante :

Note sur l'opportunité et l'utilité de la préparation de conseils techniques, destinés à faciliter la rédaction des conditions à imposer pour la construction ou établissement des différents appareils propres à la production et à l'utilisation de l'énergie électrique.

Le développement, incessant des applications électriques et les progrès réalisés dans ces dernières années dans la construction des appareils propres à la production et l'utilisation de l'énergie électrique, ont rendu la tâche très lourde et très difficile aux Ingénieurs et aux Industriels qui ont à indiquer des clauses techniques pour les commandes de fournitures ou d'installation de matériel électrique.

L'Association américaine des Ingénieurs électriciens, frappée de cette lacune, a déjà chargé une commission, composée de professeurs et d'ingénieurs,

de rédiger des instructions très précises sur la manière de définir et de mesurer le rendement, les surélévations de températures, les coefficients d'autorégulation et la psissance nominale des différents genres de machines électriques.

L'Association Amicale des Ingénieurs Electriciens de France a pensé que la rédaction de pareilles instructions présenterait de réels avantages, non seulement pour les exploitants, mais aussi pour les constructeurs eux-mêmes, et en général pour tous ceux appelés à utiliser l'électricité sous quelque forme que ce soit. Elle a été en même temps d'avis qu'il y avait lieu d'étendre le programme et de rédiger ces instructions, non seulement pour ce qui concerne les dynamos, moteurs et transformateurs, etc... mais encore pour tous les appareils qui sont inséparables des précédents : c'est-à-dire les chaudières, les moteurs primaires à vapeur, à gaz ou à pétrole, les turbines, les canalisations, l'appareillage électrique, etc...

Les avantages qu'on peut tirer d'instructions de ce genre sont très nombreux : nous citerons simplement les plus importants, ce sont :

1° La rédaction de définitions très précises et l'emploi de méthodes d'essais biens spécifiées, diminuera dans une notable proportion, les difficultés et les conflits entre les parties intéressées et, par suite, fera disparaître les procès onéreux auxquels ces difficultés donnent lieu.

2° La possibilité pour l'exploitant de vérifier rapidement et facilement le matériel qu'il a commandé suivant des règles bien définies, règles qui seront les mêmes pour tous les constructeurs, et qui, par là même, rendront la comparaison possible entre ceux-ci, supprimeront la concurrence déloyale et forceront les mauvais constructeurs à disparaître ou à améliorer leur situation.

3° L'adoption d'une règle uniforme de construction pour chaque type d'appareil, mettra le constructeur à l'abri des exigences souvent draconiennes, et mêmes absurbes, de clients mal conseillés.

4° L'emploi d'instructions très nettes, permettra aux constructeurs de lutter contre la concurrence étrangère, et, en particulier, contre la concurrence des maisons américaines, dont beaucoup doivent le succès de leur développement à la façon claire dont sont rédigées leur spécifications.

5° Enfin, la rédaction de spécifications analogues aux spécifications étrangères, facilitera et développera certainement l'exportation des appareils électriques français, et il est à désirer que les exportations de ce genre, aujourd'hui limitées à un chiffre très faible, se développent.

En résumé, les principaux avantages que nous venons d'indiquer démontrent suffisamment l'intérêt que présente, à l'heure actuelle, la création, pour l'industrie électrique française, d'un véritable guide ou manuel propre à donner aux industriels et à leurs clients, les indications utiles pour construire, commander et établir le matériel destiné à la production et à l'utilisation de l'énergie électrique.

C'est ce guide que l'Association Amicale des Ingénieurs électriciens, aidée du concours des Syndicats et des Sociétés électriques, voudrait créer et répandre à bref délai.

TRACTION ÉLECTRIQUE

Chemin de fer électrique à grande vitesse entre Manchester et Liverpool. — Il est actuellement question en Angleterre de l'établissement d'un service de trains rapides à simple rail et électrique entre Manchester et Liverpool.

Le système Behr donnant une vitesse de 110 à 120 milles à l'heure est vivement désiré des industriels et commerçants de ces deux villes. M. Behr démontre la possibilité pratique de son procédé qui a été appliqué à Bruxelles et fonctionne à une vitesse de 83 milles à l'heure sur une ligne dont les courbes nombreuses représentent plus de 75 p. 100 de la voie complète. Il affirme pouvoir effectuer le parcours entre Manchester et Liverpool en 20 minutes, sans stations intermédiaires. Parmi ceux qui sont favorables au projet, on cite M. Gérard, ingénieur en chef des chemins de fer de l'Etat belge et président de la Société belge des ingénieurs électriciens ; sir W. Preece donne des détails techniques sur le projet. La station génératrice serait installée à Warrington, environ à moitié chemin ; de là des courants triphasés seraient transmis à des sous-stations situées à chaque section de 4 milles à une tension de 10 000 volts pour y être réduits à 1 000 votls dans les feeders de distribution de la ligne. Le total des parcours annnels se chiffre par 1 500 000 milles et la consommation du courant serait de 7,5 unités par voiture-mille. Les dépenses d'exploitation sont estimées devoir atteindre 74 811 livres par an. Le coût par mille serait de 7 pences, au lieu de 8 et 10 pences, prix d'une ligne à vapeur. Les dépenses de l'entreprise seront environ de 1 750 000 livres et le capital de la Compagnie serait de 2 000 000 de livres. On pense pouvoir établir un service de trains toutes les 10 minutes; le nombre total des trains serait de quatre.

L'électrolyse par les courants de retour des tramways. — Dans la *Revue industrielle* du 26 mai, M. Ph. Delahaye, résume comme il suit une intéressante discussion qui a eu lieu récemment sur ce sujet aux Etats-Unis :

A la réunion de Cincinnati de la Central States Water Works Association, M. F.-A. Davis crut devoir signaler, il y a peu de mois, les dangers dont étaient menacées les conduites d'eau dans le voisinage des canalisations électriques, aux Etats-Unis. « Nous avons trouvé, disait-il, jusqu'à 50 volts sur une dérivation venant d'un branchement de compteur. A l'intérieur d'une maison, le courant était si énergique que, la conduite d'eau une fois coupée, un morceau de fer de l'épaisseur d'une pelle fut fondu quand on le plaça entre les bords de la coupure. Nous avons eu aussi le singulier spectacle de l'incendie apparent d'une bouche d'eau par une fuite de gaz dont les étincelles électriques avaient déterminé l'inflammation. »

A la suite de ces découvertes inquiétantes, une circulaire fut adressée aux compagnies de distribution d'eau pour leur demander de faire connaître quels étaient sur leurs conduites principales et leurs branchements d'abonnés, les effets des courants de tramways électriques. Les questions et les réponses se résument comme suit :

1. Avez-vous observé des phénomènes d'électrolyse? Il y eut 67 réponses positives et 17 négatives.

2. Où et comment ont été atteints les tuyaux de plomb, de fer et de fonte? D'après 66 réponses, le plomb, le fer et la fonte sont si profondément attaqués que les tuyaux sont perdus.

3. Avez-vous chargé un expert d'examiner votre canalisation ? Si oui, quelles ont été ses conclusions? Dans 11 cas, on s'était adressé à un expert ; dans 14 cas, on n'avait procédé à aucun examen.

4. La compagnie des tramways a-t-elle fait quelque chose pour remédier à la situation? 17 compagnies n'ont rien fait, tandis que 30 autres ont cherché à assurer un meilleur retour du courant électrique.

5. Les efforts ont-ils été sérieux et quel en a été le résultat? Dans 20 cas, il n'y a eu aucun effort; dans 7, le succès a été complet, et partiel seulement dans 20 cas.

6. Comment la Compagnie des tramways a-t-elle essayé de faire disparaître les actions électrolytiques ? D'après les 27 réponses reçues, tantôt on a employé un fil de retour aérien, tantôt un conducteur placé entre les rails; tantôt on a relié la conduite d'eau aux rails, tantôt on a établi des jonctions entre les rails et entre ces conduites d'eau, de manière que le courant trouvât soit dans les rails, soit dans les conduites d'eau, un circuit ininterrompu. La jonction des rails n'a pas donné de résultats satisfaisants, tandis que le fil de retour aérien et le conducteur de retour placé dans des caniveaux ont réussi, et tout particulièrement ce dernier.

7. La Compagnie des tramways vous a-t-elle payé des indemnités ? Si oui, quelle en était l'importance? Dans 30 cas, il a été payé des indemnités variant de 80 à 2 500 fr; dans 17 cas, il n'a rien été payé, mais quelques demandes d'indemnité n'ont pas encore été présentées ; d'autres fois, le prix des nouveaux branchements a été remboursé aux abonnés, ou bien la fourniture et le travail ont été payés directement ; il y a encore des réclamations pendantes et d'autres vont donner lieu à des procès.

8. Quelles mesures conseillez-vous de prendre, d'après votre expérience personnelle, pour prévenir l'électrolyse ? Sur cette question, 6 correspondants sont muets ; un renonce à donner une opinion ; un autre serait très heureux de savoir ce qu'il peut faire, on déclare qu'il n'existe pas encore de remède parfait. On conseille la jonction des rails par des plaques conductrices, le double trolley et l'obligation imposée aux tramways électriques d'assurer le retour du courant. Dans 35 réponses, on demande la jonction des rails, le fil de retour de diamètre suffisant pour ramener tout l'excès de courant, et l'exécution de ces travaux aux frais des compagnies de tramways.

9. Etes-vous en procès avec la compagnie de tramway ? Dans 47 cas, la réponse est négative.

10. Comment vos demandes d'indemnité ont-elles été accueillies? Sur 39 demandes signalées, il y en a 4 réglées à l'amiable, 2 à la suite desquelles les compagnies de tramways ont accepté de remédier à la situation, et, pour les autres, aucune solution jusqu'ici définitive.

11. Nous pensons qu'un fil de retour aérien est le meilleur moyen à adopter. Etes-vous d'avis que ce sera suffisant. Les opinions sont on ne peut plus

variées : la grande majorité des correspondants accepte le fil de retour aérien à condition qu'il soit de diamètre suffisant pour donner passage à la totalité du courant ; il y a aussi des partisans du conducteur de retour en caniveau, du double trolley, du conducteur de retour isolé ; enfin, d'autres ne croient pas à l'efficacité complète du système ou la nient.

12. Si vous n'êtes pas en procès avec votre compagnie de tramways, avez-vous connaissance des procès engagés ? Quatre villes ont été indiquées où il y a des procès en cours.

13. Le courant électrique des tramways a-t-il causé quelque dommage au réseau des appareils avertisseurs d'incendie ? Il a été cité 14 cas de détérioration de ces réseaux.

14. Avez-vous connaissance d'incendies causés par des courants de tramways électriques ? A cette question, il y a 44 réponses négatives.

15. Quelle est la ligne de conduite à tenir à l'égard des compagnies de tramways ? Règlement amiable, poursuites devant les tribunaux, constitution d'une commission où seraient représentées les compagnies d'eau, de gaz, de tramways, de téléphones et d'éclairage électrique pour fixer les mesures préventives à appliquer : c'est à l'une ou l'autre de ces solutions que se ramènent les réponses.

D'après l'ensemble de ces réponses, il est permis de dire que, partout où des mesures de précaution spéciales n'ont pas été ordonnées ou spontanément appliquées pour réduire au minimum ou supprimer les dérivations de courant, l'exploitation des tramways par l'électricité menace de compromettre plus ou moins vite les canalisations de distribution d'eau, sans compter les autres. On en saurait assurément plus long si on procédait à une enquête officielle dont les commissaires auraient les pouvoirs nécessaires pour exécuter des recherches sur place, en cas de nécessité reconnue par eux. Les demandes officieuses de renseignements sont un peu partout mal accueillies, et, d'après notre expérience personnelle, la proportion des réponses n'atteint pas 5 p. 100 en raison de la paresse des intéressés, de leur crainte de se compromettre ou de nuire à leur entreprise. Il est déjà très beau d'avoir établi la généralité des phénomènes électrolytiques et nous pouvons nous attendre, si nous n'y prenons garde, à les voir exercer leurs ravages en Europe aussi largement qu'aux Etats-Unis. Sans croire, comme certains publicistes transatlantiques, qu'avant dix ans, les conduites d'eau seront mises hors de service et devront être remplacées par des conduites en verre, il serait assez naturel d'exiger que les tramways électriques fussent mis dans l'impossibilité de nuire au bon fonctionnement de services plus indispensables qu'eux, au bien-être et à l'hygiène des habitants des villes.

ÉLECTROCHIMIE

Fabrication du noir de fumée au moyen de l'acétylène. — Dans le numéro du 2 septembre 1899 de ce journal, nous signalions t. XX, p. 360, les recherches faites de divers côtés en vue d'utiliser l'acétylène à la fabrication du noir de fumée. M. Hubou, un des chercheurs, a, le 18 mai dernier, fait une conférence sur ce sujet à la Société des Ingénieurs civils ; voici d'après le procès-verbal de la séance, un compte rendu sommaire de cette communication :

M. Hubou fait remarquer qu'il est indispensable, pour le développement de l'industrie de l'acétylène, que les carbures livrés à la consommation soient de première qualité, mais pour cela il faut que les usines trouvent l'utilisation de leurs résidus. La solution qu'il préconise consiste à transformer sur place ces produits en un noir commercial ou carbone amorphe, qu'il désigne du nom de *noir d'acétylène* pour le différencier des autres noirs commerciaux.

Jusqu'à ce jour, ces derniers ont été obtenus par une *flamme*, par la combustion incomplète à l'air d'hydrocarbures solides, liquides ou gazeux. Leurs qualités et, par suite, leurs prix varient dans des limites considérables, suivant leur mode de fabrication, leur degré de finesse, de pureté et de puissance colorante. Le rendement ne dépasse pas 25 p. 100, la composition est très variable ; ils renferment toujours, unis au carbone, de l'eau, des carbures condensés, des produits d'oxydation qui leur donnent toujours une teinte plus ou moins rousse, et la teneur en carbone ne dépasse guère 90 p. 100.

M. Hubou a essayé le noir résultant de la flamme des becs à acétylène rendue fuligineuse et il a trouvé que ce noir, tout en étant plus riche en carbone que les précédents, avait par suite de sa combustion à l'air les mêmes inconvénients ; de plus, en raison du prix élevé du gaz, il a reconnu que cette fabrication ne pouvait être rendue industrielle.

Il a cherché à obtenir sans pertes le rendement total de l'acétylène en noir et il y est arrivé en profitant de sa propriété caractéristique d'être *endothermique* et facilement explosif à une pression supérieure à 2 atmosphères.

Il comprime l'acétylène à l'abri de l'air sous une pression peu élevée dans un récipient dont la résistance est appropriée. Pour cela, il chasse d'abord l'air par un courant d'hydrogène obtenu dans une réaction précédente et il introduit ensuite, après suppression de l'air, l'acétylène à une pression inférieure à 5 atmosphères. Cette addition d'hydrogène à l'acétylène, en outre qu'elle permet d'éliminer toute trace d'air, a pour effet de rendre l'explosion moins violente que celle de l'acétylène seul. En fait, la pression, au moment de la décomposition ne dépasse pas 25 atmosphères. Cette décomposition est obtenue par un courant électrique portant un fil métallique à l'incandescence. Il en résulte la formation :

1° Du carbone ou *noir d'acétylène* qui se dépose en masse dans le récipient et le remplit complètement ;

2° De l'hydrogène dont le volume égale celui de l'acétylène introduit.

M. Hubou obtient pour 1 m³ d'acétylène 1 kg de noir et 1 m³ d'hydrogène et il fait remarquer que son procédé présente sur les procédés actuels les avantages suivants :

Le noir d'acétylène est obtenu instantanément ; il ne renferme pas moins de 99,8 p. 100 de carbone pur et est de composition constante. Il est franchement noir, légèrement bleuté, sec, d'une ténuité extrême lui permettant de se mélanger en toutes proportions et sans dépôt aux huiles, aux gommes, aux essences, etc. Par sa production à l'abri de l'air et *sans oxydation* il s'obtient *sans pertes* et le rendement est donc quatre fois supérieur à celui du meilleur gaz d'huile.

De l'avis des négociants les plus compétents, le noir d'acétylène est un noir nouveau, caractéristique et spécial, ayant par sa valeur propre l'avenir d'un grand marché. M. Hubou en présente des échantillons ainsi que des dessins tirés avec des encres lithographiques et typographiques préparées au moyen de ce noir : ces épreuves sont très nettes, tous les détails et les demi-teintes sont conservés ; elles sont moins lourdes et ne présentent pas la teinte jaune de celles qui sont préparées avec les autres noirs, même les plus fins.

M. Hubou montre que le noir d'acétylène s'applique avec succès à tous les emplois des autres noirs légers (encres, cuirs vernis et cirés, vernis, laques, cirages, impressions sur tissus, etc.) dont la consommation, en France seulement, excède 1 million de kilogrammes par an.

Il termine sa communication par l'évaluation du prix de revient et du prix de vente probable du noir d'acétylène basés sur une production de 120 à 150 000 kg par an, au moyen d'un appareil indus-

triel qu'il se propose de présenter prochainement à la Société.

Cette fabrication, annexée à une usine de carbure et transformant ses déchets et poussiers, de valeur commerciale à peu près nulle, en un produit d'une valeur bien assurée, lui permettra de réserver à l'éclairage ses carbures de première qualité et d'affirmer ainsi une marque de fabrication supérieure.

Elle pourra s'appliquer à la production des carbures alcalino-terreux autres que le carbure de calcium, qui n'ont encore reçu aucune application industrielle, notamment celle du carbure de baryum : le résidu de l'attaque par l'eau donnant pour une tonne près de deux tonnes de baryte hydratée cristallisée.

Comme autres sous-produits, on a de l'hydrogène qui ne coûte rien, en raison de la vente du noir d'acétylène, et qui peut être vendu à un prix inférieur à celui qu'on obtient par les procédés même les plus récents ; cette production de l'hydrogène à bon marché permettra d'en développer les applications, en particulier à l'aérostation militaire et au chauffage.

M. Hubou conclut, en résumé, que la fabrication du noir d'acétylène et de ses dérivés est destiné à prendre, dans un avenir prochain, un grand développement industriel, parallèle à celui des carbures alcalino-terreux, de même que l'industrie si florissante du noir de pétrole a suivi celle des pétroles d'Amérique.

Eclairage à l'acétylène (Ouveillan). — La ville d'Ouveillan, dans le département de l'Aude, est éclairée depuis le mois de mai 1898 par l'acétylène.

Cette ville compte 2 600 habitants ; elle est située à 12 km de Narbonne. C'est la Compagnie des Carbures métalliques qui se charge de l'éclairage, lequel est employé pour les rues, les établissements municipaux, les magasins et un grand nombre d'habitations particulières.

L'usine productrice de l'acétylène contient deux générateurs à projection de carbure dans l'eau et deux gazomètres de 20 m³ chacun, reliés à la canalisation principale par une conduite munie d'un siphon. Au sortir des gazomètres, l'acétylène se rend à un compteur et, de là, passe à un régulatenr de pression qui permet de faire varier la pression de la ville suivant les heures. La canalisation a environ 4 km de longueur, elle est constituée en tuyaux de fonte et de plomb. La pression maximum est de 80 mm d'eau. Les abonnés ont des compteurs analogues aux compteurs à gaz.

Le gaz est vendu aux établissements municipaux

a raison de 2,50 fr le mètre cube et aux particuliers à raison de 3 fr ; l'éclairage public se paie 0,04 fr le bec-heure. Les becs employés sont des becs à flamme conjuguée et à mélange d'air.

L'éclairage public compte 70 becs et les abonnés sont au nombre de 75 ; parmi ces consommateurs, plusieurs brûlent plus d'un mètre cube par jour.

SOCIÉTÉS INDUSTRIELLES

Informations. — *Compagnie continentale Edison.* — Pendant l'exercice 1899, dont il a été rendu compte à l'Assemblée générale du 2 mai 1900, les recettes de l'exploitation ont pris un développement très supérieur à celui qui avait été constaté les années précédentes. Leur montant s'est élevé à 4 861 599 fr, en augmentation de 573 397 fr sur 1898 : cette progression est plus que double de celle obtenue durant l'exercice antérieur et qui avait été seulement de 238 526 fr. Pour l'éclairage, le nombre des lampes de 10 bougies s'est accru de 31 969 et celui des abonnés de 338 ; pour les abonnements de force motrice, l'accroissement est de 533 chevaux. La Compagnie distribue maintenant 1 333 chevaux de force motrice et alimente 207 182 lampes de 10 bougies pour 3 092 abonnés.

Les dépenses d'exploitation sont passées de 2 073 370 fr en 1898 à 2 397 549 fr en 1899. L'augmentation de 324 179 fr est corrélative de celle des recettes, mais on observera que si la Compagnie dépense actuellement près de 50 p. 100 de sa recette brute pour assurer la marche de l'exploitation, le supplément des recettes a été absorbé jusqu'à concurrence de 56 1/2 p. 100 par l'aggravation des dépenses en 1899. C'est que la Compagnie, en dehors de la hausse des prix des charbons, a subi des retards, par le fait des constructeurs, dans l'installation de sa nouvelle usine de Saint-Denis qui aurait dû être prête à fonctionner en 1899 et qui n'a pu être mise en service, et pour partie seulement, qu'en avril 1900. Cette situation a entraîné des dépenses qui ne se reproduiront pas dans l'avenir.

Avec les intérêts des fonds disponibles, le produit des valeurs de portefeuille et les divers, les recettes du compte de profits et pertes se sont élevées à 2 523 207 fr. Les frais généraux et redevances ont pris 461 703 fr et il est resté disponible 2 061 504 fr. Le conseil a prélevé d'abord 42 000 fr pour le revenu garanti aux parts de fondateurs et 1 390 000 fr pour la dotation du fonds d'amortissement et de dépréciation du matériel, puis 31 475 fr pour la réserve légale. Au solde de 598 028 fr est venu s'ajouter le report de l'exercice 1898 pour 24 097 fr et ce total de 622 125 fr a permis d'attribuer aux actions un dividende de 600 000 fr, correspondant à 30 fr par titre, et de reporter à nouveau 22 125 fr.

Société d'Éclairage Électrique du Secteur de la Rive Gauche de Paris. — Les bénéfices de l'exercice 1899 sont en progression très sensible sur ceux de l'année précédente. L'exercice de 1898 avait donné un bénéfice net de 83 612 fr ; l'exercice 1899 a produit, toutes charges d'emprunts payées, une somme nette de 440 961 fr. L'augmentation est de 357 349 fr. Dans ce bénéfice n'est pas comprise la somme de 1 050 000 fr que la Compagnie des Tramways de la Rive Gauche s'est engagée à payer à la Société, le transfert de la concession des lignes de Boulogne à Vincennes et à Montreuil n'ayant été approuvé par le Conseil d'État qu'après la clôture de l'exercice.

Compagnie des Tramways Électriques d'Oran. — Sur le bénéfice de 120 000 fr de l'exercice 1899, une somme de 12 000 fr a été appliquée au paiement d'un dividende de 15 fr par action.

Société Française d'Électro-Metallurgie. — Les bénéfices industriels et commerciaux de la Société

ont progressé en 1899 de 161 586 fr et se sont élevés à 2 372 640 fr. Avec les produits divers, le total des recettes atteint 2 429 543 fr, laissant, après déduction des frais généraux et des charges, un produit net de 1 811 514 fr. Mais, dans le cours de l'exercice, le capital social a été porté de 7 à 15 millions. Le Conseil propose la répartition d'un dividende de 40 fr par action, égal à celui de l'année précédente.

Société des Forces Motrices du Rhône. — Les produits de l'exploitation se sont élevés, pendant l'année 1899, à 556 371 fr et, avec les intérêts et recettes diverses, l'ensemble des ressources du compte de profits et pertes a été de 686 841 fr; mais les frais généraux et la charge des obligations ont atteint un total de 1 286 250 fr, de sorte que l'exercice solde par un déficit de 589 409 fr.

La progression des recettes permet d'espérer que l'exercice en cours couvrira ses charges.

Société Autrichienne d'Incandescence par le Gaz (Système Auer) et d'Electricité. — Les bénéfices de la Société ont subi une réduction en 1899, par suite de l'aggravation des impôts qui, de 412 700 couronnes, ont été portés à 776 527 couronnes. Par suite, le dividende n'a été fixé qu'à 65 p. 100, contre 80 p. 100 pour l'année précédente.

AVIS

Distribution de courants combinée au moyen d'un courant continu et d'un courant triphasé, brevet **Kando**, n° 254-357. — Perfectionnements aux moteurs à champ tournant et à courants alternatifs, brevet **Kando**, n° 254-392. L'inventeur offre de céder ses brevets ou de concéder des licences d'exploitation. *S'adresser* à M. J. Delage, ingénieur-conseil, 90, boulevard Richard-Lenoir, à Paris.

BIBLIOGRAPHIE

Il est donné une analyse bibliographique des ouvrages dont **deux** *exemplaires sont envoyés à la Rédaction.*

Vorlesungen über hydrodynamische Fernkræfte nach C. A. Bjerknes' Theorie (Leçons sur les actions électrodynamiques à distance d'après la théorie de C. A. Bjerknes), par **V. Bjerkness**, professeur à l'Université de Stockholm. Un vol. gr. in-8° de 338 pages, avec 40 figures. *Johann Ambrosius Barth*, éditeur, Leipzig. Prix : 10 marks.

L'ouvrage dont le professeur Bjerkness a entrepris la publication sous ce titre doit comprendre plusieurs volumes. Le premier volume, qui vient d'être publié, est consacré à l'étude du mouvement d'un système de sphères de volume variable dans un fluide incompressible dénué de viscosité.

On sait que si l'on considère deux sphères placées dans un tel fluide et dont le volume est une fonction périodique du temps, ces deux sphères s'attirent ou se repoussent suivant une force variant en raison inverse du carré de la distance ; il y a attraction si les deux sphères pulsantes se contractent et se dilatent en même temps et répulsion si le volume de l'une augmente pendant que celui de l'autre diminue et inversement.

Au point de vue électrique cette propriété est intéressante car elle indique que les attractions et répulsions électriques peuvent parfaitement résulter d'une modification dans l'état d'équilibre du diélectrique interposé. Il est vrai que le résultat hydrodynamique est en quelque sorte opposé à celui qui conviendrait pour une explication simple de ces attractions et répulsions, car les équations hydrodynamiques indiquent une *attraction* entre deux sphères vibrant *synchroniquement* alors que l'expérience montre qu'il y a *répulsion* entre deux sphères chargées d'électricités de même nom.

Malgré cette divergence, l'étude des sphères pulsantes est intéressante pour l'électricien à qui les spéculations métaphysiques ne déplaisent pas. Comme c'est cette étude que M. V. Bjerkness développe dans les 12 chapitres de son ouvrage, celui-ci trouvera certainement des lecteurs parmi les abonnés de ce journal, familiarisés avec la langue allemande.

Impianti di illuminazione elettrica (Usines d'éclairage électrique), par **Emilio Piazzoli** ; 4e édition. Un vol. in-16 de XVI-582 pages, avec 261 figures. Collection des Manuels Hœpli. *Hœpli*, éditeur, Milan. Prix : 6,5 lires.

La plupart des volumes édités dans la collection des Manuels Hœpli ont, au delà des Alpes, un véritable succès de librairie et quelques-uns d'entre eux ont été traduits dans diverses langues. L'ouvrage de l'ingénieur Piazzoli est du nombre : publié pour la première fois en 1890, il en est maintenant à sa quatrième édition.

Cette nouvelle édition diffère d'ailleurs considérablement de la précédente tant par l'augmentation des matières que par la rédaction nouvelle de nombreux paragraphes ; en particulier tout ce qui concerne la production et la distribution des courants alternatifs a été l'objet d'une revision soignée.

Dans toutes ses parties le manuel de M. Piazzoli atteint bien le but que s'était proposé l'auteur en l'écrivant : exposer à l'ingénieur-directeur d'usine d'éclairage les difficultés qu'il peut rencontrer, lui rappeler en quelques mots les nombreuses connaissances dont il peut avoir besoin, en un mot être pour lui un guide sûr.

Un appendice où se trouvent reproduits les divers règlements italiens concernant l'usage de l'énergie électrique et la traduction du règlement de la Société des électriciens allemands, accuse encore le caractère pratique que l'auteur a voulu donner à son ouvrage. J. R.

Grande Encyclopédie. — La 682e livraison vient de paraître cette semaine.

Prix : de la livraison 1 fr., du volume broché 25 fr., du volume relié 30 fr.

Envoi franco d'un fascicule spécimen de 16 pages contre toute demande affranchie adressée à la Société de la *Grande Encyclopédie*, 61, rue de Rennes, Paris.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

L'EXPOSITION UNIVERSELLE

LES USINES GÉNÉRATRICES DU CHAMP DE MARS

Le développement rapide de l'emploi de l'électricité pour la transmission et la distribution de l'énergie constituant la caractéristique des progrès réalisés dans le domaine de l'ingénieur depuis 1889, l'Exposition de 1900 devait nécessairement marquer cette évolution. Aussi dès le début de l'organisation des services fut-il décidé que toute transmission mécanique serait rigoureusement proscrite (1) et que le mouvement serait donné aux nombreuses machines dispersées dans l'enceinte de l'Exposition par l'énergie électrique engendrée dans une station centrale (2).

(1) L'Administration a dû cependant se départir de sa rigueur pour donner satisfaction à quelques demandes tardives et, à titre exceptionnel, elle a fait installer quelques arbres de transmission commandés par des moteurs électriques et servant à actionner par courroies un certain nombre de machines. Mais ces arbres, individuellement de faible longueur, ont une longueur cumulée de 250 m seulement et ne transmettent qu'une puissance de 225 chevaux, chiffres insignifiants lorsqu'on les compare aux chiffres correspondants des précédentes Expositions : 2 176 m pour une puissance de 2 400 chevaux en 1878 et 1 360 pour une puissance de 3 000 chevaux en 1889.

D'ailleurs la proscription des transmissions mécaniques a été maintenue dans tous les Palais qui, comme ceux de l'Explanade des Invalides, renferment des expositions ayant un véritable caractère artistique, et c'est seulement dans les galeries des Palais du Champ de Mars que les arbres de transmission ont été tolérés.

(2) Toutefois les usines de deux des Secteurs parisiens, l'usine des Moulinaux et celle d'Asnières et quelques petites usines particulières concourent également à la fourniture de l'énergie électrique.

La Compagnie du secteur de la Rive gauche et la Compagnie du secteur des Champs-Elysées ont été autorisées, la première par une convention datant du 28 juin 1899, la seconde par une convention semblable du 3 août 1899, à distribuer l'énergie électrique dans l'enceinte de l'Exposition.

La nouvelle usine construite aux Moulineaux pour l'alimentation de la ligne de la Compagnie des chemins de fer de l'Ouest, allant des Invalides à Versailles, et pour l'alimentation de diverses lignes de tramways de la banlieue

Cette station centrale, située au rez-de-chaussée du Palais de l'Électricité (fig. 1 et 2), est divisée en deux parties. Dans l'une, l'usine La Bourdonnais, sont installés les groupes

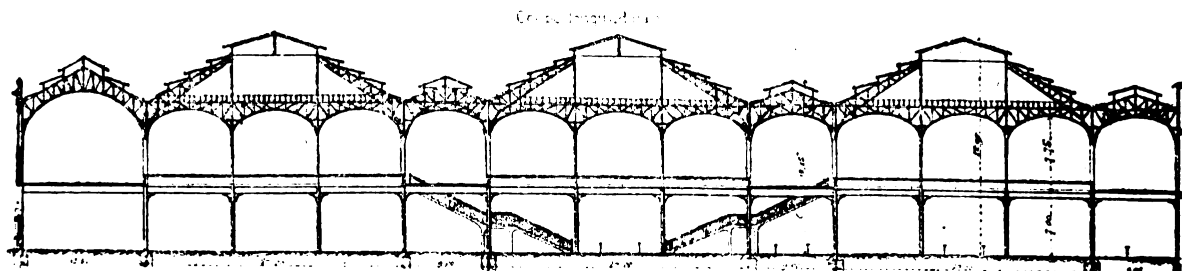


Fig. 1. — Coupe du Palais de l'Electricité suivant l'axe d'un des palais latéraux.

électrogènes de construction française ; l'autre, l'usine Suffren, renferme les groupes électrogènes exposés par les constructeurs étrangers. La vapeur nécessaire au fonctionnement

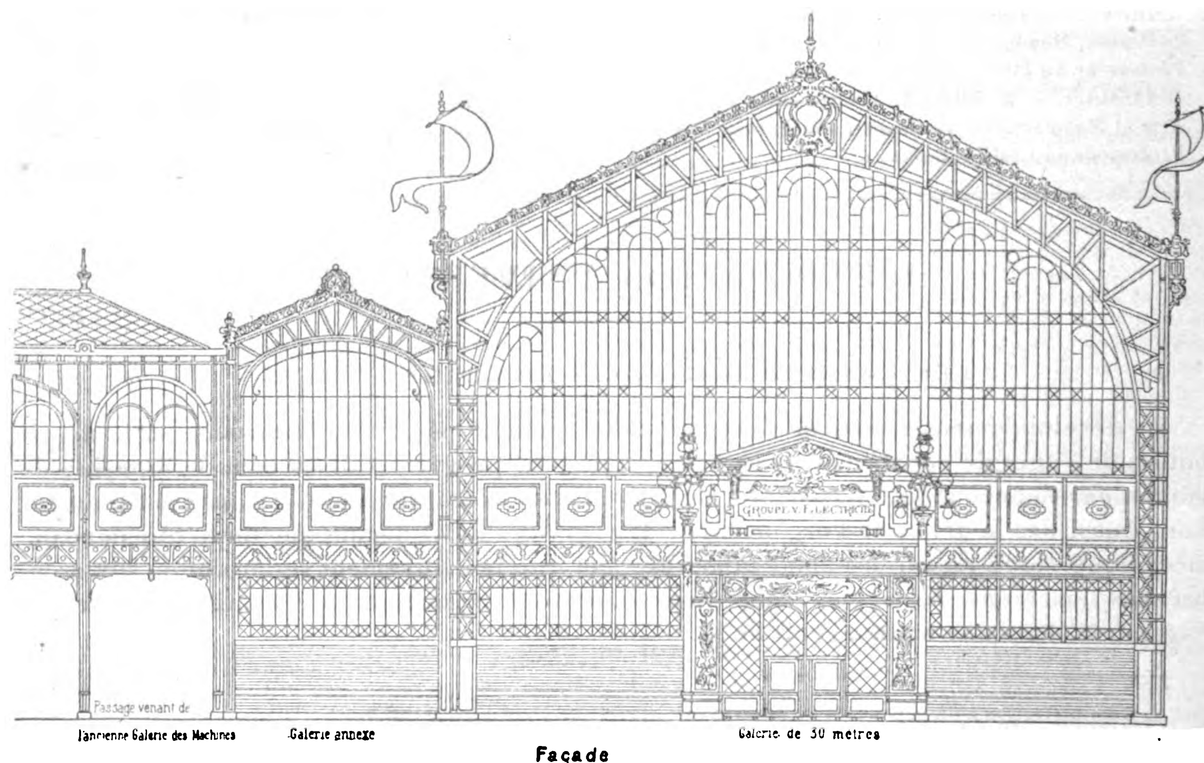


Fig. 2. — Entrée de l'usine de la Bourdonnais.

de ces groupes [1] est fournie par des chaudières disposées sous deux galeries parallèles

ouest, devait fournir l'énergie nécessaire à l'exploitation de la plate-forme et du chemin de fer de l'Exposition. Cette énergie est, pour le moment, fournie par la Société « Le Triphasé » d'Asnières.

L'installation de quelques usines particulières dans l'enceinte de l'Exposition a été aussi autorisée par l'Administration. Mais la puissance des moteurs composant chaque usine ne doit pas dépasser 120 chevaux, y compris les moteurs de rechange, et en aucun cas ceux qui fonctionneront simultanément ne devront fournir ensemble plus de 60 chevaux. Quelques exposants ont profité de cette autorisation pour produire eux-mêmes le courant nécessaire à leur éclairage ; ce sont alors des moteurs à gaz ou des moteurs à pétrole qui actionnent les dynamos.

[1] Ces groupes électrogènes seront l'objet de descriptions détaillées faites par M. Guilbert ou sous sa direction.

au Palais de l'Électricité et situées entre ce Palais et l'ancien Palais des Machines de 1889, aujourd'hui appelé Palais de l'Alimentation.

I. Production et distribution de la vapeur

Chaudières. — Les hangars qui abritent les générateurs mesurent, chacun, 105 m de longueur sur 28 de largeur ; une voie charretière de 6 m de longueur longe chacun des grands côtés des bâtiments ; une voie ferrée est établie suivant l'axe ([1]).

Les chaudières sont disposées de part et d'autre de la voie ferrée, celles d'un même constructeur étant groupées ensemble ; elles sont orientées de manière que leurs façades se trouvent à l'opposé de la voie ferrée. Une chambre de chauffe de 4 m de largeur ayant été réservée entre les poteaux de la charpente des hangars et les façades des chaudières ; celles-ci sont à une distance de 10 m des murs du Palais de l'Électricité et du Palais de l'Alimentation, de sorte que le décret du 30 avril 1880 enjoignant de ne pas installer de générateur de vapeur à moins de 10 m de bâtiments habités se trouve respecté.

D'après le règlement général de l'Exposition, ces chaudières sont considérées comme objets exposés. Pour cette raison leur installation a été faite aux frais des exposants, l'Administration allouant seulement une indemnité de 1 500 fr par 1 000 kg de capacité de production de vapeur à l'heure.

Les dépenses d'exploitation sont également à la charge des constructeurs ; une indemnité de 4,45 fr par kilogramme de vapeur effectivement produite en marche utile est accordée à ceux-ci ; en outre, l'eau de Seine, sous une pression de 7 m environ, amenée du bassin supérieur du Château-d'Eau par des conduites de 20 cm de diamètre, leur est fournie gratuitement ; enfin pour les droits sur le combustible, ils bénéficieront du tarif réduit de l'entrepôt.

Quelques conditions générales ont d'ailleurs été imposées aux constructeurs. La plupart des machines à vapeur des groupes électrogènes fonctionnant sous une pression de 10 kg : cm^2 et la perte de pression dans la tuyauterie ayant été estimée à 1 kg : cm^2, il fut décidé que les chaudières fourniraient toutes de la vapeur à 11 kg : cm^2, et que des détendeurs de vapeur seraient adjoints aux machines fonctionnant sous une pression inférieure à 10 kg : cm^2. Il fut également convenu que les foyers seraient disposés pour éviter, autant que possible, les fumées opaques ; que les charbons seraient approvisionnés en sacs et les escarbilles et cendres enlevées également en sacs pour éviter la production des poussières, et que cette double manutention serait terminée avant huit heures du matin.

Le nombre des chaudières installées est de 94, dont 53 dans l'usine La Bourdonnais et 41 dans l'usine Suffren. L'ensemble de ces chaudières peut fournir 234,7 tonnes de vapeur à l'heure, l'usine La Bourdonnais fournissant 120 600 kg et l'usine Suffren 114 100 kg.

Espérant pouvoir commencer la publication de ces monographies dans le prochain numéro, nous avons cru devoir les faire précéder de quelques considérations générales sur l'ensemble des installations.

Disons d'ailleurs que nous avons puisé la plupart des renseignements que nous donnons sur les installations de production et de distribution de la vapeur dans une brochure récente de M. G. Eude, ingénieur chargé des intallations mécaniques de l'Exposition, brochure qui forme la première livraison de *La Mécanique à l'Exposition de 1900*.

([1]) Voir le plan publié page 394 du précédent numéro.

Fig. 3 et 4. — Carneaux de fumée.

Les noms des constructeurs sont donnés ci-dessous :

Usine Labourdonnais

Groupe	constructeurs	Nombre
1	J. et A. Niclausse . . .	12
2	Crepelle Fontaine . . .	1
3	Mathot et fils	4
4	Cie française Babcok et Wilcox	10
5	Roser	6
6	Montupet	6
7	Cie de Fives-Lille . . .	6
8	Bietrix, Nicolet et Cie. .	1
9	De Nayer et Cie	6
10	Solignac, Grille et Cie .	1
		53

Usine Suffren

Groupe	constructeurs	Nombre
11	Galloway	6
12	de Nayer et Cie	4
13	Fitzner et Gamper. . .	1
14	Cie française Babcok et Vilcox	4
15	J. et A. Niclausse . . .	9
16	Mathot et fils.	3
17	Steinmuller.	5
18	Petry Dereux	1
19	Berninghaus	1
20	F. Berninghaus. . . .	4
21	Fetzold	1
22	Simonis et Lanz . . .	1
23	Paucksch.	1
		41

Carneaux de fumée. — Dans chacune des salles de chaudières les fumées sont conduites à la cheminée par deux carneaux dont les sections vont en croissant à mesure que l'on s'approche de la cheminée. Ces deux carneaux s'étendent parallèlement à l'axe des bâtiments sur une longueur de 91 m, puis, arrivés à 18,8 m du centre de la cheminée ils se dévient suivant deux courbes formant un cœur et pénètrent en deux points diamétralement opposés dans les fondations de la cheminée (fig. 3 et 4). Sur une longueur de 18 m, ces carneaux ont chacun une largeur de 1,175 m

et une hauteur sous clef de 2 m ; ce sont ces carneaux qui sur la figure sont désignés sous la désignation de type 1. Les carneaux du type 2 sont formés par la juxtaposition de deux carneaux du premier type. Les autres types de carneaux ont même largeur, 2,60 m ; la hauteur est de 2 m dans le type 2 *bis* qui sert de raccordement entre le type 2 et le type 3, de 2,90 pour le type 3, de 3,80 m pour le type 4 et de 4,70 m pour le type 5. Tous

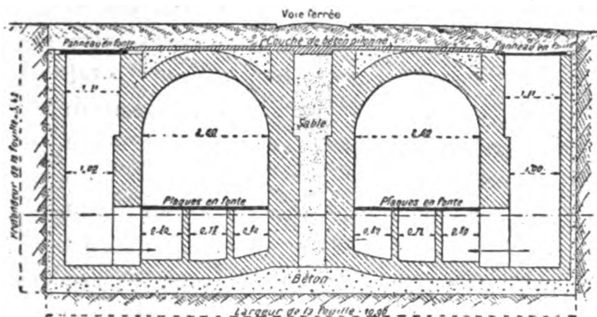


Fig. 5. — Coupe tranversale sur un branchement.

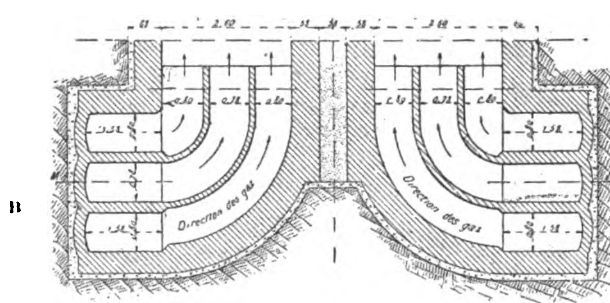
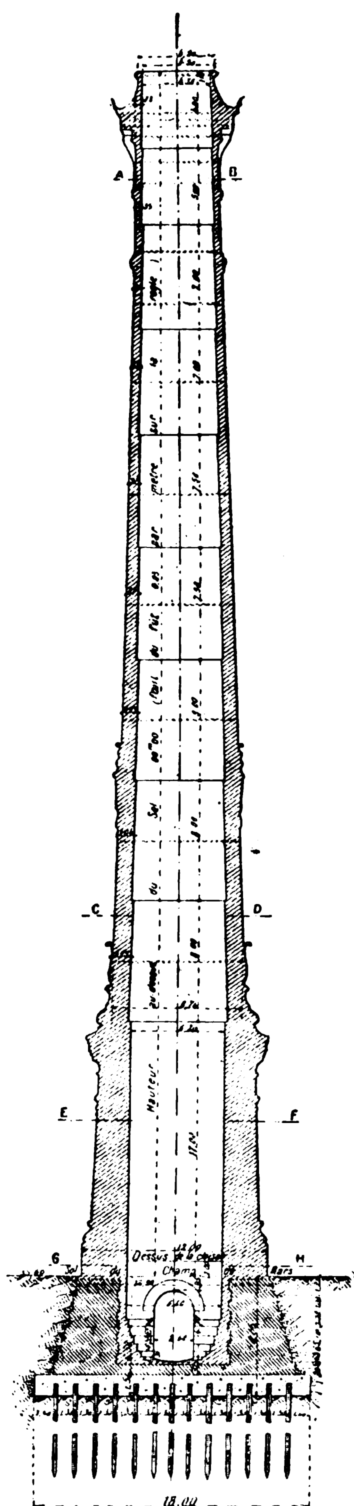


Fig. 6. — Coupe horizontale suivant AB.

ces tronçons ont leurs clefs de voûte à la même profondeur au-dessous du niveau du sol ; leurs radiers sont par conséquent à des profondeurs inégales. A la séparation de deux tronçons débouche un des branchements ou carneaux secondaires reliant chaque groupe de chaudières aux carneaux principaux ; les figures 5 et 6 donnent une coupe transversale et une coupe horizontale des branchements.

Cheminées. — Pour obtenir un tirage suffisant et surtout pour que la fumée ne puisse être rabattue par le vent dans l'enceinte du Champ-de-Mars, les cheminées devaient avoir une grande hauteur. Comme, en outre, il était indispensable que ces cheminées aient un caractère décoratif qui, loin de nuire, contribue au contraire à l'harmonie de l'aspect général de l'Exposition, un concours fut institué pour leur construction. MM. Nicou et Demarigny, auteurs du projet classé en première ligne par le jury furent chargés de la construction de la cheminée de l'usine La Bourdonnais moyennant un prix à forfait de 203 000 fr. Aucun autre projet n'ayant été retenu par le jury, le projet de la cheminée de l'usine Suffren fut établi par les Services de l'Exposition et son exécution fut confiée à MM. Toisoul et Fradet sur devis forfaitaire de 186 000 fr.

La grande hauteur de ces cheminées au-dessus du sol (80 m) conduisit à donner aux fondations une surface considérable. De plus, en raison de la hauteur des carneaux de fumée, il fallut les descendre à 8 m au-dessous du sol. Le terrain du Champ-de-Mars présentant à cette profondeur une couche d'argile plastique insuffisamment résistante, on dut recourir à l'emploi de pilotis pour reporter une grande partie de la charge (7 000 tonnes environ) sur une couche de sable quartzeux située à 16 m environ au-dessous du sol. Un gâteau de béton de 18 m de diamètre et de 1,85 m d'épaisseur maintient la tête des pieux. Sur ce gâteau est établi le soubassement, construit en meulières à l'exception de l'enveloppe intérieure et des voûtes de pénétration des carneaux qui sont en briques ; une cloison verticale inclinée à 45° sur l'axe commun des carneaux de fumée est établie dans le soubassement pour éviter les remous à la rencontre des deux courants gazeux. Tout le reste de la cheminée est construit en briques. La décoration est obtenue au moyen de briques profilées, vernies et de colorations diverses et au moyen de motifs en céramique ; il avait été question d'une décoration lumineuse mais le concours institué dans ce but n'ayant pas donné de résultats, on a renoncé à ce mode de décoration.



Les figures 7 à 11 et 12 à 16 représentent les coupes verticales et diverses coupes horizontales des deux cheminées.

Canalisations de vapeur et d'eau. — La vapeur produite par les chaudières de chaque usine est amenée par des conduites, disposées parallèlement aux façades et fixées à la charpente des bâtiments par des corbeaux en fonte, à deux réservoirs collecteurs. Ces réservoirs en tôle d'acier, de 3 m de longueur totale, sont placés à peu de hauteur audessus du sol, en avant des coffres d'aération des galeries souterraines contenant les conduites de distribution. Chacun d'eux (fig. 17) est muni à sa partie supérieure de cinq tubulures de 25 cm de diamètre sur quatre desquelles sont fixées quatre des conduites d'amenée, la cinquième servant à établir une communication entre les deux réservoirs d'une même usine ; à la partie inférieure se trouvent quatre tubulures semblables sur lesquelles sont fixées les conduites de distribution qui se prolongent à l'intérieur des réservoirs sur 40 cm de hauteur de façon à puiser de la vapeur sèche.

Les conduites de distributions sont disposées dans les galeries souterraines qui reçoivent également les conduites d'eau froide destinée à la condensation et les conduites ramenant l'eau de condensation. De chaque salle de chaudières partent deux galeries qui s'étendent dans les palais latéraux du Champ-de-Mars sur une longueur de 145 m. Ces quatre galeries sont reliées par une galerie transversale passant à proximité des groupes électrogènes situés du côté des salles des chaudières par rapport à l'axe du Palais de l'Électricité; quatre branchements desservent les groupes électrogènes placés en face ; enfin deux galeries transversales réunissent les deux extrémités des galeries principales de chaque salle de chaudières au bassin inférieur du Château-d'Eau dans lequel se fait la prise de l'eau nécessaire à la condensation [1].

[1] L'eau destinée aux installations mécaniques commence en effet par être utilisée pour le service de la grande cascade du Château d'eau. Elle est puisée dans la Seine à l'usine élévatoire installée sur les berges de la Seine, au port de la Cunette, à peu près dans le prolongement de l'avenue de Suffren. Cette usine comprend deux groupes de deux machines à vapeur Crépelle et Garaud, de Lille.

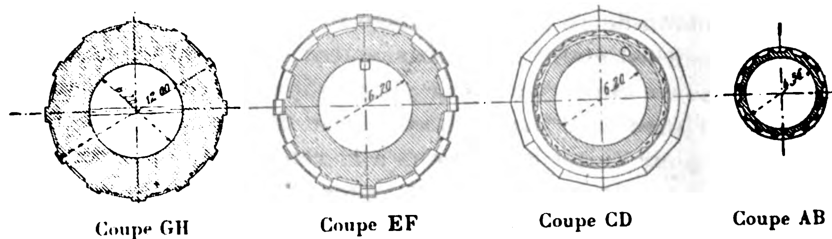
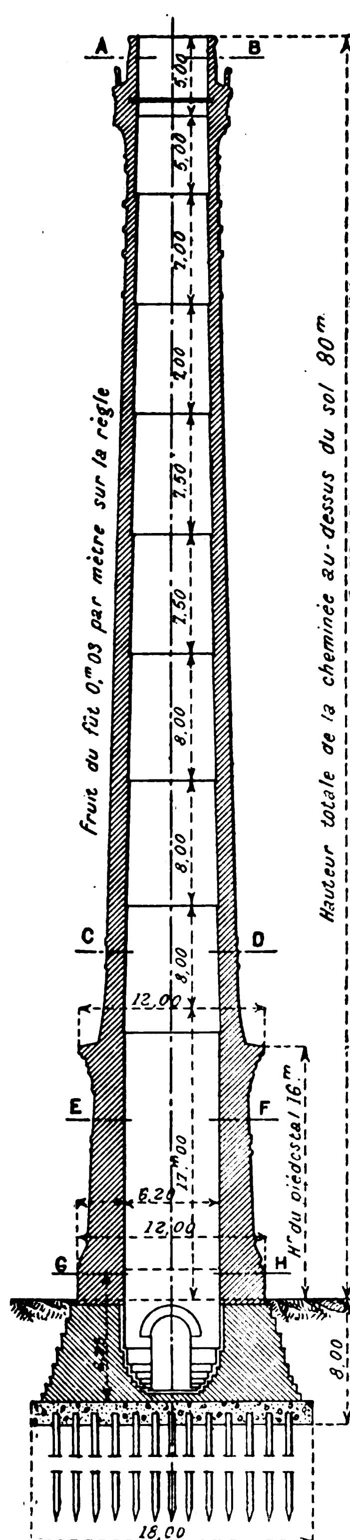


Fig. 7 à 11. — Coupes de la cheminée de l'usine La Bourdonnais.



Ces galeries sont de divers types, différant par leur section. La figure 18 représente la coupe d'une galerie du type n° 1 suivant l'axe d'un caniveau de raccord avec un groupe électrogène. Cette galerie contient deux conduites de 60 cm de diamètre pour l'eau froide et l'eau chaude de condensation et quatre conduites de vapeur de 25 cm de diamètre. Les canalisations de vapeur et d'eau et les branchements de raccord ont été prévus de façon à ce que la fourniture de la vapeur aux divers groupes électrogènes soit autant de possible répartie de la même manière sur les conduites et qu'en outre on puisse assurer l'alimentation d'un groupe quelconque par l'une ou l'autre des salles de chaudières. Des boîtes à dilatation et des purgeurs automatiques sont disposés sur ces canalisations pour permettre les variations de longueur résultant des variations de température ainsi que l'évacuation de l'eau condensée.

II. Groupes électrogènes

Installation et exploitation. — Les groupes électrogènes devant assurer, du moins en partie, le service de la distribution de la force motrice et de l'éclairage dans l'enceinte de l'Exposition, et, d'autre part, les machines à vapeur qui les commandent devant être toutes alimentées par les deux salles de chau-

actionnant des pompes Worthington. Chacune des machines est capable d'élever par seconde, à la cote 47,50, dans le bassin supérieur de la grande cascade, 500 litres d'eau puisée dans la Seine à la cote 27, et même, lors des plus basses eaux, à la cote 26; deux conduites de 80 cm de diamètre servent au refoulement des 1 000 litres d'eau que doit élever chaque groupe, un groupe de machines restant toujours en réserve; en cas d'avarie à l'une des conduites, le débit de l'autre pourrait être porté à 750 litres par seconde.

L'eau d'alimentation des générateurs de vapeur est, comme nous l'avons dit plus haut, puisée dans le bassin supérieur de la cascade; celle servant à la condensation est puisée dans le bassin inférieur; les eaux de condensation sont conduites à la Seine. Quelques groupes électrogènes sont munis de condenseurs à surface: dans ce cas d'eau de refroidissement peut être prise sur les conduites de refoulement pourvu que l'élévation de température de l'eau ne dépasse pas 0,6° C.

Des canalisations d'eau de la ville sont d'ailleurs installées dans la plupart des galeries souterraines; cette eau est destinée au service d'incendie et pour suppléer l'eau de Seine en cas de besoin urgent.

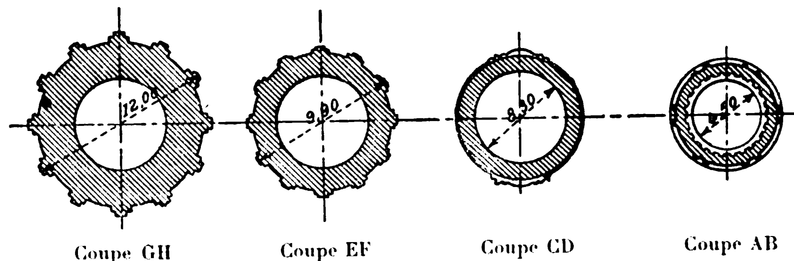


Fig. 12 à 16. — Coupes de la cheminée de l'usine Suffren.

dières dont il vient d'être question, certaines conditions devaient nécessairement être imposées aux constructeurs de ces groupes.

Ces conditions [1], examinées par la Commission technique le 4 août 1898, approuvées par le Directeur général de l'Exploitation le 18 août et par le Commissaire général le 31 août, peuvent être résumées ainsi :

1° Les groupes électrogènes peuvent être fournis soit par un seul constructeur, soit par un consortium formé d'un constructeur de machines à vapeur et un constructeur de machines électriques ;

2° Toutes les machines doivent fonctionner à condensation ;

3° La vapeur et l'eau de condensation sont fournies gratuitement par l'Administration qui les amène à proximité des emplacements réservés aux groupes électrogènes ;

4° Les constructeurs doivent établir à leurs frais les branchements qui leur sont nécessaires sur les canalisations de l'Administration ainsi que les robinets d'arrêt et les caniveaux destinés à recevoir les branchements reliant les machines aux canalisations souterraines ;

5° Chaque machine est pourvue d'un tableau portant tous les moyens d'interruption et de protection d'usage ordinaire, ainsi que des appareils de mesure d'un modèle agréé par l'Administration ;

6° Pour les machines à courant alternatif le constructeur doit fournir et mettre en place les transformateurs qu'il sera nécessaire d'établir aux sous-stations de distribution pour l'utilisation du courant de ses alternateurs ;

7° Le service des installations électriques prend le courant aux bornes du tableau du fournisseur, sous une tension régulière pour chaque machine. Pour le courant continu cette tension est de 240 ou 480 volts au tableau ; pour le courant alternatif simple elle est de 2 200 volts avec une fréquence égale à 50 ; pour les courants alternatifs triphasés la tension est de 2 200, 3 000 ou 5 000 volts, la fréquence étant 50 dans tous les cas ; pour les courants alternatifs diphasés la tension doit être de 2 200 volts et la fréquence 42 ;

8° Les constructeurs doivent présenter leurs plans à l'approbation de l'Administration et celle-ci détermine la puissance en chevaux indiqués pour laquelle les groupes électrogènes sont admis ;

9° Les constructeurs recevront une première rétribution fixe représentant la part contributive, à forfait, de l'Administration, dans les frais de premier établissement. Cette contribution est calculée d'après une échelle décroissant à mesure que la puissance augmente. Elle est de

	Mach. à vapeur	Dynamos	Ensemble
Pour chacun des 1000 premiers chevaux . . .	9,95 fr	4,08 fr	14,03 fr
Pour chacun des chevaux de 1000 à 1500 . .	7,10 »	1,25 »	8,35 »
Pour chacun des chevaux suivants	5,20 »	0,95 »	6,15 »

Toutefois il a été stipulé que la part contributive de l'Administration ne dépasserait pas 340 000 fr à répartir par moitié entre les groupes des deux usines, à raison de 120 000 fr aux fournisseurs des machines à vapeur, et 50 000 fr aux fournisseurs de dynamos, et qu'il serait opéré une réduction proportionnelle sur chacune des allocations calculées comme

	Mach. à vapeur	Dynamos	Ensemble
Usine La Bourdonnais.	138 073 fr	53 959 fr	192 032 fr
Usine Suffren.	193 520 »	70 761 »	264 281 »

[1] Elles ont été publiées in-extenso dans *L'Éclairage Électrique* du 27 août 1898, t. XVI, p. XLV.

il vient d'être dit dans le cas où la somme de ces allocations dépasserait 340 000 fr [1].

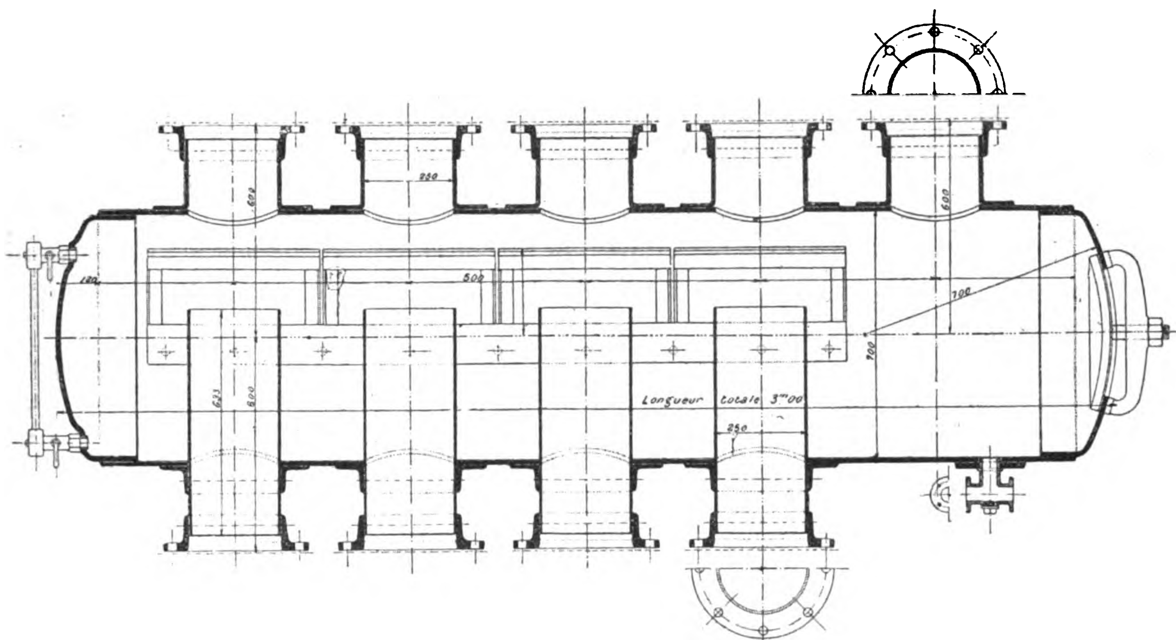


Fig. 17. — Réservoir collecteur de vapeur.

10° Indépendamment de la rétribution à forfait qui vient d'être indiquée, l'Administra-

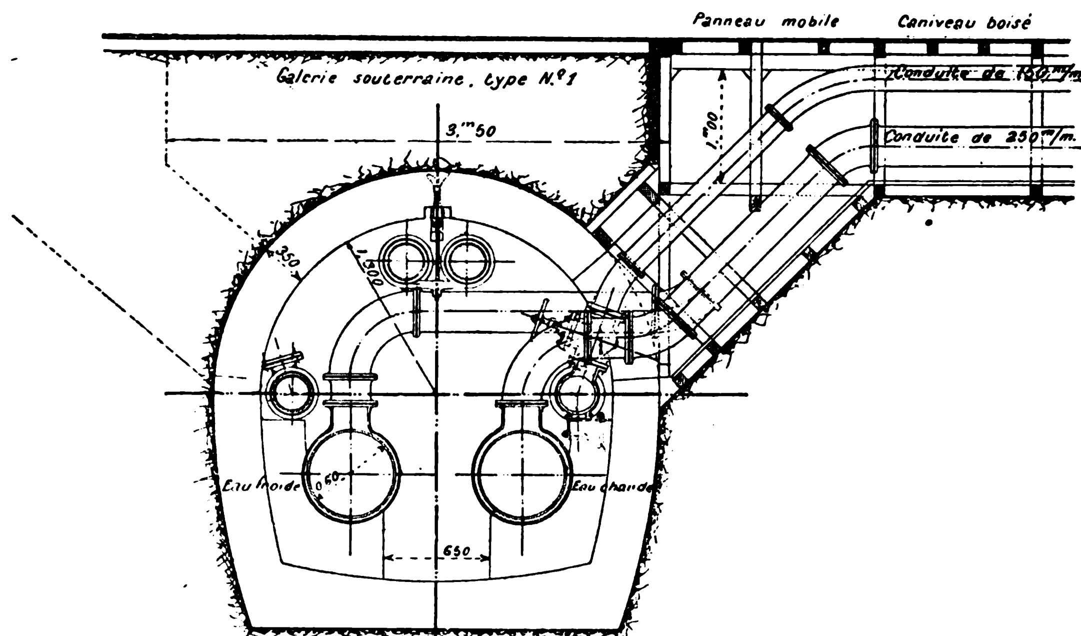


Fig. 18. — Branchement de raccord à un groupe électrogène.

[1] C'est ce qui aura lieu, les sommes que devrait payer l'administration d'après la puissance pour laquelle les groupes électrogènes ont été admis étant de :

***

tion alloue aux constructeurs une somme proportionnelle au nombre d'heures de marche et à la puissance normale pour laquelle chaque machine a été acceptée, somme destinée à les indemniser de leurs frais d'entretien, de personnel, de réparations pendant la période pendant la période d'exploitation. Cette allocation est calculée suivant les bases suivantes. par cheval indiqué et par heure de marche :

	Mach. à vap.	Dynamos	Ensemble
Pour chacun des 1 000 premiers chevaux	0,00840 fr	0,00707 fr	0,01547 fr
Pour chacun des chevaux de 1 000 à 1 500.	0,00382	0,00293	0,00675
Pour chacun des chevaux au-delà de 1 500	0,00288	0,00240	0,00528

L'Administration ayant garanti une durée de marche minimum de 500 heures, les frais d'exploitation qu'elle devra payer aux constructeurs des groupes électrogènes seront au minimum de :

	Mach. à vap.	Dynamos	Ensemble
Usine La Bourdonnais.	56 543 fr	47 362 fr	103 905 fr
Usine Suffren	76 114	63 561	139 675

Nomenclature des groupes électrogènes. — Les deux tableaux ci-joints donnent : les noms des constructeurs, la puissance admise en chevaux indiqués et en kilowatts utiles, la nature du courant, son intensité, sa tension et, dans le cas de courants alternatifs, la fréquence, pour les divers groupes électrogènes des deux usines.

On voit par ces tableaux que les groupes électrogènes à vapeur de la section française sont au nombre de 18 et ont une puissance admise totale de 14435 chevaux indiqués, ce qui fait une puissance moyenne de 802 chevaux par groupe. Ceux des sections étrangères sont au nombre de 19 ; leur puissance admise est pour l'ensemble de 21 650 chevaux indiqués ; leur puissance moyenne de 1140 chevaux. La puissance totale des deux usines est de 36 085 chevaux indiqués [1].

Outre les groupes électrogènes à vapeur dont il vient d'être question, l'usine La Bourdonnais comprend encore un groupe électrogène formé de deux moteurs Charon de 60 chevaux, à deux cylindres, et actionnant deux dynamos de la Compagnie générale de Nancy. Ce groupe électrogène, en marche depuis fin décembre dernier, alimente la grue Titan, de M. Le Blanc, qui a servi au montage des groupes de l'usine La Bourdonnais, le pont roulant de Carl Flohr qui dessert l'usine Suffren, et divers autres appareils de levage dispersés dans le Palais de la Mécanique ; il assurait également, avant la mise en marche des groupes électrogènes, l'éclairage des travaux de nuit.

Les machines à vapeur des groupes électrogènes sont presque toutes à marche lente. Dans la section française, si l'on excepte les deux turbines Laval, on ne rencontre qu'une seule machine à grande vitesse ; dans les sections étrangères trois seulement ont une vitesse angulaire dépassant 200 t : m.

---

[1] Il est intéressant de comparer ces chiffres avec les chiffres correspondants relatifs aux Expositions antérieures.

En 1867, la puissance totale était de 854 chevaux fournie par 52 machines dont la puissance moyenne était de 16 chevaux.

En 1878, la puissance totale étant de 2 533 chevaux, le nombre des machines motrices de 41, la puissance moyenne de 62 chevaux ; par rapport à 1867, la puissance totale avait augmenté dans la proportion de 300 p. 100 et la puissance unitaire dans la proportion de 390 p. 100.

En 1889, la puissance totale était de 5 320 chevaux, le nombre des machines de 32, la puissance moyenne de 166 chevaux ; par rapport à 1878, il y avait augmentation de 210 p. 100 pour la puissance totale et de 268 p. 100 pour la puissance moyenne.

La comparaison des chiffres de 1889 avec ceux de 1900 montre que la puissance totale a augmenté de 680 p. 100 et la puissance moyenne de 585 p. 100.

NUMÉROS d'ordre.	NATIONALITÉ	NOMS DES CONSTRUCTEURS des moteurs à vapeur.	des dynamos.	CHEVAUX indiqués.	PUISSANCE en kw.	NATURE du courant.	INTENSITÉ aux bornes en ampères.	TENSION aux bornes en volts.	FRÉQUENCE
		I. — Groupes électrogènes de la section française.							
1	France.	Société Alsacienne des constructions mécaniques.		1 200	675	Continu.	1 400	500	»
2	»	Crépelle et Garand.	Decauville aîné.	1 200	675	»	2 800	250	»
3	»	Société de Laval.	Maison Breguet.	300	170	»	700	250	»
3 *bis*	»	Id.	Id.	300	170	»	700	250	»
4	»	Compagnie de Fives-Lille.		1 200	675	Triphasé.	180	2 200	50
5	»	Piguet et Cie.	A. Grammont.	600	340	»	90	2 200	50
6	»	Garnier.	Etablissement Postel-Vinay.	400	225	Continu.	450	500	»
6 *bis*	»	Id.	Id.	135	75	»	150	500	»
7	»	Dujardin et Cie.	Soc. l'Eclairage Electrique.	800	440	Triphasé.	95	3 000	50
8	»	Biétrix, Nicolet et Cie.	Id.	350	190	Continu.	760	250	»
9	»	P. et A. Farcot.		850	480	Biphasé.	155	2 200	42,5
10	»	Weyber et Richemond.	Daydé et Pillé.	1 000	560	Continu.	2 240	250	»
11	»	Id.	Cie gén. Electr. Nancy.	500	280	Triphasé	52	3 000	50
12	»	Id.	Electricité et Hydraulique.	1 000	560	»	150	2 200	50
13	»	Delaunay Belleville.	Maison Bréguet.	1 250	700	»	190	2 200	50
14	»	Soc. anciens établis. Cail.	Cie Thomson-Houston.	1 200	675	»	65	5 500	25
15	»	Dujardin et Cie.	Schneider et Cie.	1 500	840	»	230	3 000	50
16	»	Société anonyme Hauts-Fourneaux, Maubeuge.		500	280	Continu	1 120	250	»
17	»	Soc. des Ind. économiques.	Cie gén. Electr., Nancy.	120	65	»	260	250	»
		II. — Groupes électrogènes des sections étrangères.							
21	Angleterre.	Robey.		500	280	»	1 120	250	»
22	»	Willans et Robinson.	Siemens Brothers.	2 400	1 340	»	2 630	500	»
23	»	Galloway.	Mather et Platt.	500	280	»	1 120	250	»
24	Pays-Bas.	Stork.	Electrotech. Industrie.	550	300	»	600	500	»
25	Allemagne.	Augsbourg.	Helios Elek. Anl. Act. Ges.	1 900	1 020	Altern. simple.	480	2 200	50
26	»	Augsbourg.	Schuckert.	2 000	1 120	Triphasé.	100	5 000	50
27	»	Borsig.	Siemens et Halske.	2 230	1 250	»	340	2 200	50
28	»	Augsbourg	Lahmeyer	1 400	785	»	95	5 000	50
29	Belgique.	Carels.	Kolben.	1 000	560	»	150	3 000	50
30	»	Bollincks.	Electricité et Hydraulique.	1 100	620	»	170	2 200	42
31	»	Van der Kerchove.	Pieper.	1 000	560	»	150	2 200	50
32	Autriche.	Ringhoffer.	Siemens et Halske.	1 600	900	Continu.	1 800	500	»
33	»	Erste Brunner.	Ganz.	910	510	Triphasé.	140	2 200	42
34	Hongrie.	Lang.	Id.	1 200	670	»	180	2 200	50
35	Suisse.	Sulzer.	Ateliers d'Oerlikon.	400	250	Altern. simple.	110	2 200	50
38	»	Escher-Wyss.	»	900	500	Triphasé.	135	2 200	50
39	»	Mertz.	Alioth.	360	200	Continu.	400	500	»
41	Italie.	Tosi.	Schuckert.	1 200	675	»	1 400	500	»
40	»	Tosi.	Bacini.	600	350	»	700	500	»

Cinq machines seulement sont monocylindriques ; elles sont toutes dans la section française. A une seule exception près, ces machines n'utilisent pas directement la vapeur fournie à 10 kg : cm^2, mais sont pourvues de détendeurs de vapeur. La triple détente est très appliquée par les constructeurs étrangers, elle ne l'est que par deux constructeurs français.

La nature du courant fourni par les groupes électrogènes est indiquée par le tableau suivant :

NATIONALITÉS	NOMBRE de groupes	PUISSANCE EN KILOWATTS				PUISSANCE totale
		courant continu	alternatif simple	courants diphasés	courants triphasés	
France	10	3085	»	»	»	8.075
	1	»	»	480	»	
Allemagne	8	»	»	»	4510	
Angleterre	4	850	1020	»	2305	4.175
Autriche	3	1900	»	»	»	1.900
Belgique	2	900	»	»	510	1.410
Hongrie	3	»	»	»	1740	1.740
Italie	1	»	»	»	670	670
Pays-Bas	2	1025	»	»	»	1.025
Suisse	1	300	»	»	»	300
	3	200	250	»	500	950
	38	8260	1270	480	10235	20.245

III. Distribution de l'énergie électrique.

Tableaux de distribution. — Les tableaux de distribution sont au nombre de deux, l'un pour le courant continu, l'autre pour les courants alternatifs ; ils sont situés sous le vestibule du Château d'Eau, le tableau pour courant continu du côté de l'avenue de Suffren, l'autre du côté de l'avenue La Bourdonnais.

Tableau à courant continu. — Le tableau pour le courant continu (fig. 19) comprend : 10 panneaux pour les 10 machines à courant continu de l'usine Suffren, 7 panneaux pour les 9 machines de l'usine Suffren (le groupe Charon-Vicarino n'est pas relié au tableau), 10 panneaux de départ des feeders et un panneau central où sont disposés les voltmètres. Les conducteurs amenant les courants des génératrices sont reliés à trois barres omnibus entre chacune desquelles existe une différence de potentiel de 250 volts. Sur les dix circuits à trois fils qui en partent huit sont souterrains et deux aériens ; ces deux derniers sont disposés sur les faîtes des deux palais qui bordent le Champ-de-Mars.

Ces circuits distribuent l'énergie électrique nécessaire à l'éclairage et à la force motrice dans l'enceinte du Champ-de-Mars. Le circuit n° 1 alimente le Chateau d'Eau ; les circuits 2 et 7 desservent respectivement les palais en bordure de l'avenue Suffren et en bordure de l'avenue de La Bourdonnais ; les circuits 3 et 8 le Palais de l'Alimentation (côté Suffren et côté La Bourdonnais) ; les circuits 4 et 6 les sous-sols du Palais de l'Electricité ; les circuits 5 et 10 la Galerie des Machines ; enfin le circuit 9 la Salle des Fêtes.

Les exposants branchés sur ces circuits pourront disposer de l'énergie électrique pendant toute la durée de marche des groupes électrogènes, c'est-à-dire pendant toute la journée sauf aux heures des repas.

Tableau à courant alternatif. — La figure 20 représente schématiquement le tableau

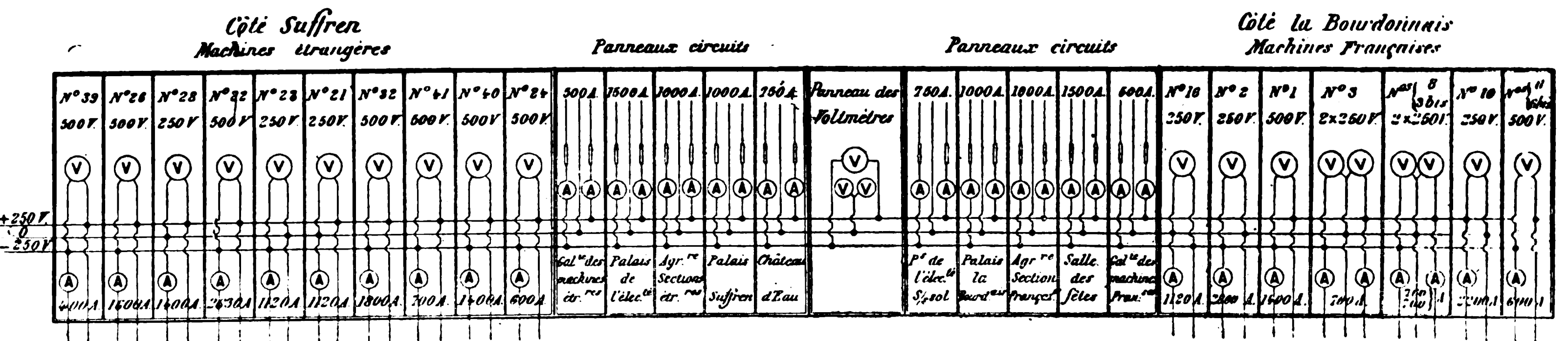


Fig. 19. — Tableau de distribution pour les courants continus.

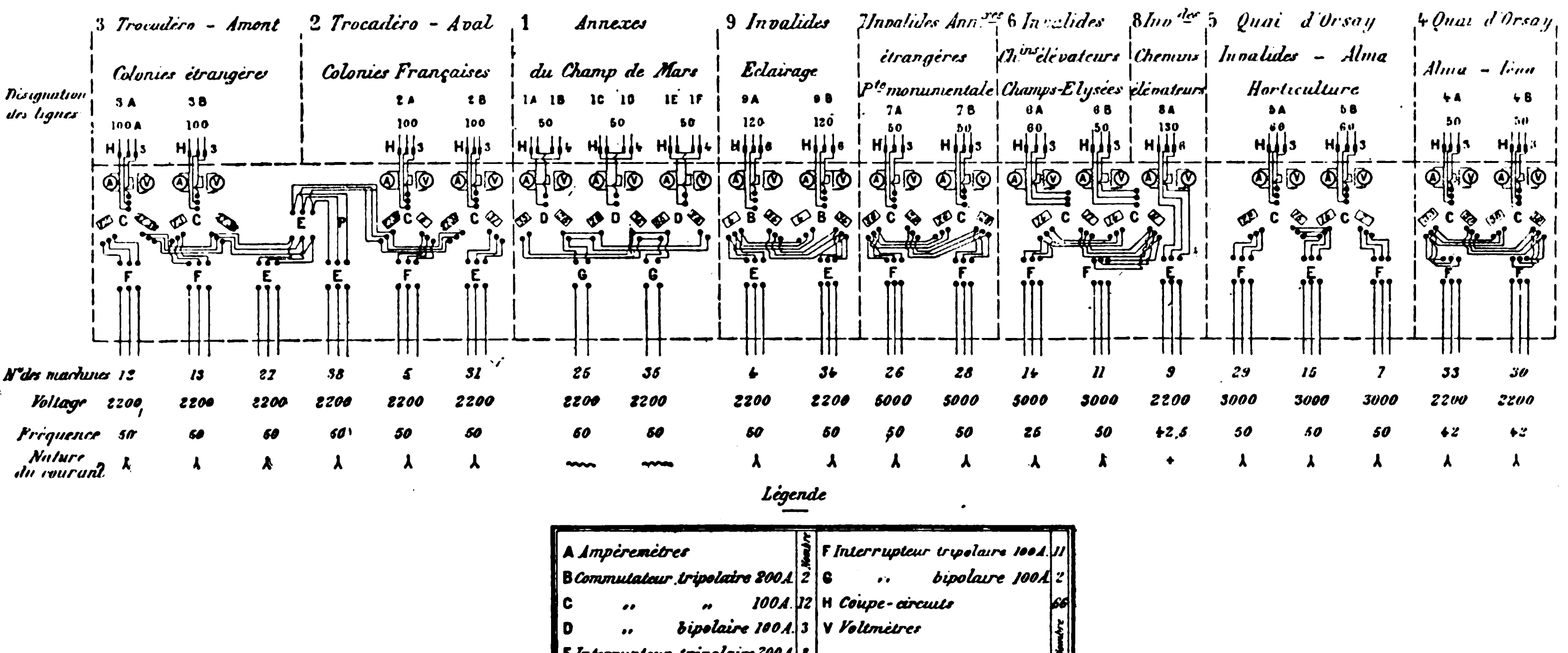


Fig. 20. — Tableau de distribution pour les courants alternatifs.

destiné à la répartition des courants alternatifs. On voit qu'il est formé de 9 panneaux absolument distincts, sauf toutefois les panneaux 2 et 3 qui peuvent être reliés entre eux(¹).

De ces panneaux partent des circuits d'alimentation qui, comme il était logique, desservent les parties de l'Exposition situées à une distance des usines génératrices plus grande que les parties desservies par le courant continu.

Les heures de distribution des courants alternatifs ont été réglées de la façon suivante :

1° Le courant alternatif simple (panneau n° 1) est distribué pendant les heures d'éclairage seulement sur le pourtour extérieur des Palais du Champ-de-Mars.

2° Les courants alternatifs diphasés (panneau n° 8) sont distribués pendant toute la durée de marche des groupes électrogènes.

3° Les courants alternatifs triphasés de fréquence 50 (panneaux n°ˢ 2 et 3) et de fréquence 25 (panneau 6) pendant toute la durée de marche des groupes électrogènes.

(¹) Le panneau n° 1 reçoit le courant alternatif simple de fréquence 50 et à 2 200 volts fourni par les groupes électrogènes de la section étrangère n° 25 (Helios, 480 amp) et 35 (Sulzer-Oerlikon, 110 amp) et le distribue par 6 lignes en câbles armés à des kiosques de transformation d'où partent des canalisations à 110 volts alimentant les lampes à arc qui éclairent le pourtour extérieur des Palais du Champ-de-Mars.

Le panneau n° 2 reçoit les courants triphasés (2 200 volts, fréquence 50) fournis par les groupes 27 (Borsig-Siemens et Halske, 340 amp), 12 (Weyher et Richemond-Électricité et Hydraulique, 150 amp) et 13 (Delaunay, et Belleville-Maison Bréguet, 190 amp) et les envoie, par deux lignes, au poste de tranformation n° 43 qui dessert la partie du Trocadéro affectée à l'Exposition des Colonies françaises.

Le panneau n° 3 reçoit les courants triphasés (2 200 volts, fréquence 50) fournis par le groupe 5 (Piguet et Cⁱᵉ, Grammont, 90 amp), le groupe 31 (Van der Kerchore-Pieper, 150 amp) et le groupe 38 (Escher Wyss-Oerlikon, 135 amp), pour les distribuer par deux lignes en câbles armés aux postes de transformateurs n°ˢ 40, 41 et 42 qui desservent la partie du Trocadéro réservée à l'Exposition des Colonies étrangères. Ce panneau peut être connecté avec le panneau 2 de façon à pouvoir coupler en parallèle un nombre quelconque des 6 alternateurs triphasés reliés à ces tableaux.

Le panneau n° 4 est affecté aux groupes électrogènes à courants triphasés de même tension mais dont la fréquence est 42, c'est-à-dire au groupe 30 (Bollinckx, Électricité et Hydraulique, 170 amp) et au groupe 33 (Brunau-Ganz, 140 amp). Ces courants sont envoyés aux postes de transformateur 34, 35, 37, 39, et 41 *bis* qui desservent les canalisations secondaires d'éclairage de la partie du quai d'Orsay et des berges situées en aval du pont de l'Alma, du pavillon de la Presse et de la passerelle établie entre le pont de l'Alma et le pont d'Iéna.

Le panneau n° 5 reçoit les courants triphasés à 3 000 volts et de fréquence 50 du groupe 7 (Dujardin-Éclairage électrique, 95 amp), du groupe 15 (Dujardin-Schneider, 230 amp) et du groupe 29 (Carels-Kolben, 150 amp) et permet de les envoyer aux postes de transformateurs 24, 25, 26, 32, 33, 36 et 38 qui desservent les canalisations secondaires d'éclairage du quai et des berges du Cours-la-Reine, du Palais d'Horticulture au Palais des Congrès, d'une partie du quai Debilly et des berges en contre-bas et enfin des passerelles établies sur la Seine.

Le panneau n° 6 formé de deux parties, reçoit les courants triphasés à 5 000 volts et de fréquence 25, fournis par le groupe n° 14 (Cail Thomson-Houston, 65 amp) et les courants triphasés à 3 000 volts de fréquence 50 du groupe n° 11 (Weyher et Richemond, 52 amp) et envoie les premiers au poste de convertisseurs n° 5 (Invalides) qui alimente de courant continu sous 550 volts les chemins élévateurs et les moteurs des Invalides, et les seconds au poste de convertisseurs n° 19 (Champs-Elysées) qui alimente de courant continu sous 550 volts la canalisation secondaire d'éclairage des jardins des Champs-Élysées et des pylônes de la Porte Monumentale.

Le panneau n° 7 reçoit les courants triphasés à 5 000 volts de fréquence 50 fournis par les groupes 26 (Schuckert, 100 amp) et 28 (Lahmeyer 95 amp); deux lignes souterraines en câbles armés à 3 conducteurs envoient ces courants aux postes de tranformateurs 8, 12, 14, 15, 17, 18, 20, 23, 28, 29, 30 et 31 d'où partent les canalisations secondaires d'éclairage d'une patie de l'Esplanade des Invalides, de la Porte Monumentale, de la Concorde, du pont Alexandre III, d'une partie du quai d'Orsay et du Cours-la-Reine en amont du pont de l'Alma.

Le panneau n° 8 reçoit les courants biphasés à 2 200 volts du groupe 9 (Farcat, 155 amp) et alimente par une ligne souterraine en câble armé à trois conducteurs de 60 mm² de section le poste de convertisseurs n° 16 qui fournit du courant continu sous 550 volts à une partie des chemins élévateurs et des moteurs installés aux Invalides.

Le panneau n° 9 reçoit les courants biphasés à 2 200 volts et à fréquence 50 fournis par le groupe n° 4 (Fives-Lille, 180 amp) et du groupe 34 (Lang-Ganz, 180 amp); il les envoie par deux lignes souterraines en câble armé à trois conducteurs de 80 mm² de section aux postes de transformateurs n°ˢ 1, 2, 3, 4, 6, 7, 9 10, 11 et 13 situés sur l'Esplanade des Invalides et d'où partent les canalisations secondaires d'éclairage d'une partie de cette région.

4° Les courants alternatifs triphasés de fréquence 42 (panneau n° 4), de fréquence 50 (panneaux nos 5, 6, 7 et 9) pendant les heures d'éclairage seulement.

Conditions de la fourniture de l'énergie électrique. — La plus grande partie de l'énergie électrique produite par les groupes électrogènes est utilisée pour l'éclairage public ou fournie gratuitement aux exposants pour la mise en mouvement des machines exposées [1]; toutefois l'administration fournit une certaine partie de cette énergie à titre onéreux.

Les exposants qui reçoivent l'énergie électrique, gratuitement ou à titre onéreux, doivent faire établir à leurs frais les branchements reliant leurs appareils soit aux conducteurs principaux soit aux postes de transformateurs ou de convertisseurs les plus voisins; il leur faut également fournir ou prendre en location des compteurs d'un modèle agréé par l'administration. Aux exposants alimentés à titre onéreux l'énergie est vendue 1 fr le kilowatt-heure lorsqu'elle est utilisée pour l'éclairage et 0,50 fr le kilowatt-heure lorsqu'elle est utilisée pour la force motrice; sur le tarif d'éclairage il est fait une réduction de 50 p. 100 pour l'excès de la consommation, exprimée en kilowatts-heure, sur le produit de 800 heures par la puissance du compteur en kilowatts-heure.

J. Blondin.

LE TRAMWAY ÉLECTRIQUE DE L'ANNEXE DU BOIS DE VINCENNES

Cette ligne de tramways, destinée à desservir pendant la durée de l'Exposition l'Annexe établie au Bois de Vincennes, a été mise en service il y a quelques semaines. Le plan ci-joint (fig. 1) en montre toute l'utilité; elle prend à l'une de ses extrémités, au cours de Vincennes, les voyageurs descendant du Chemin de fer de Ceinture, des Chemins de fer Nogentais et des diverses lignes de tramways ayant leur terminus à la porte de Vincennes; elle doit également prendre les voyageurs du Métropolitain quand cette voie de communication sera en exploitation; à l'autre extrémité, porte de Bercy, elle prend les voyageurs arrivant par la station des Bateaux-Parisiens et par la station de la Rapée-Bercy, point de jonction des lignes d'Orléans et de Ceinture; en outre, elle dessert sur son parcours les deux stations de Bel-Air (Ceinture et Vincennes) et croise la ligne de Bastille-Charenton.

Confiée à la Compagnie Thomson-Houston, l'installation de cette ligne a été exécutée avec une rapidité remarquable; commencée le 15 février dernier, elle était terminée onze semaines après, le 5 mai.

La longueur de la ligne est de 3 500 m environ. La voie double, à l'écartement normal, est en rails à gorge, type Broca, du poids de 45 kg par mètre courant.

La ligne, aérienne, est constituée par deux fils de cuivre de 8,25 mm de diamètre posés sur consoles (fig. 2). Elle est alimentée soit par l'usine des Chemins de fer Nogentais, située rue des Laitières, à Vincennes, soit par l'usine de Saint-Mandé, appartenant à la Compagnie des Tramways-Sud, la ligne étant reliée directement à chacune de ces deux usines au moyen d'un feeder souterrain.

Les voitures automotrices, au nombre de 25, sont à impériales couvertes et peuvent contenir chacune 40 voyageurs. Leur équipement consiste en deux moteurs du type GE-58, commandés par deux combinateurs type K-9 placés un sur chaque plateforme; elles sont

[1] Le règlement relatif à la fourniture de l'énergie électrique aux exposants par l'Administration de l'Exposition a été publié dans le numéro du 2 décembre 1899 (t. XXI, p. xcviii) de *L'Éclairage Électrique*.

Fig. 1. — Plan de la ligne.

munies de freins à air Stantard à compresseurs d'air mûs par l'essieu (1). A ces voitures, peuvent être attelées des voitures de remorque.

(1) Voir la description de ces freins dans *L'Éclairage Électrique* du 6 mai 1899, t. XIX, p. 180.

Moteurs. — Chaque moteur a une puissance effective de 37 chevaux. Son enveloppe est composée (fig. 3 à 6) de deux coquilles pouvant pivoter autour de charnières placées sur

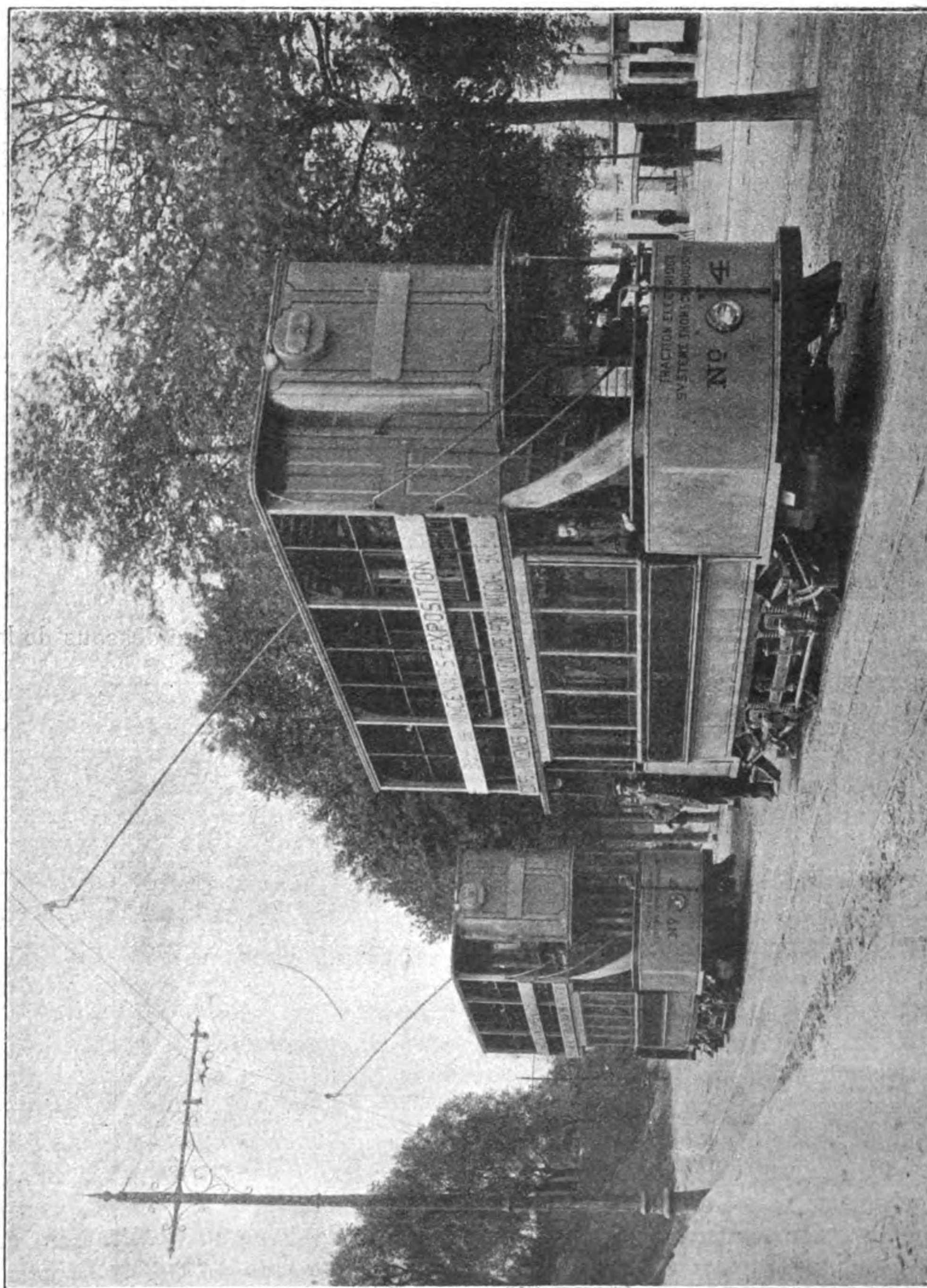


Fig. 2. — Voitures du tramway de l'Annexe de Vincennes.

l'un des côtés, ce qui permet la visite de toutes les parties du moteur sans qu'il soit besoin d'enlever celui-ci du châssis. Deux ouvertures permettent d'ailleurs la visite journalière des organes importants; la plus grande, située au-dessus du collecteur, sert à la visite des

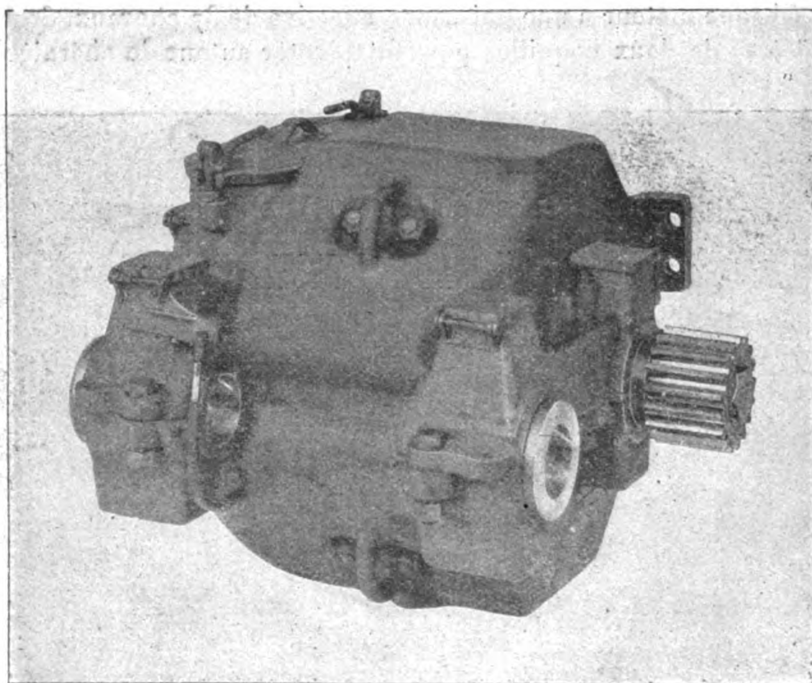


Fig. 3. — Moteur GE-58, côté de l'essieu.

porte-balais et au remplacement des balais usés ; l'autre, située juste au-dessous de la pré-

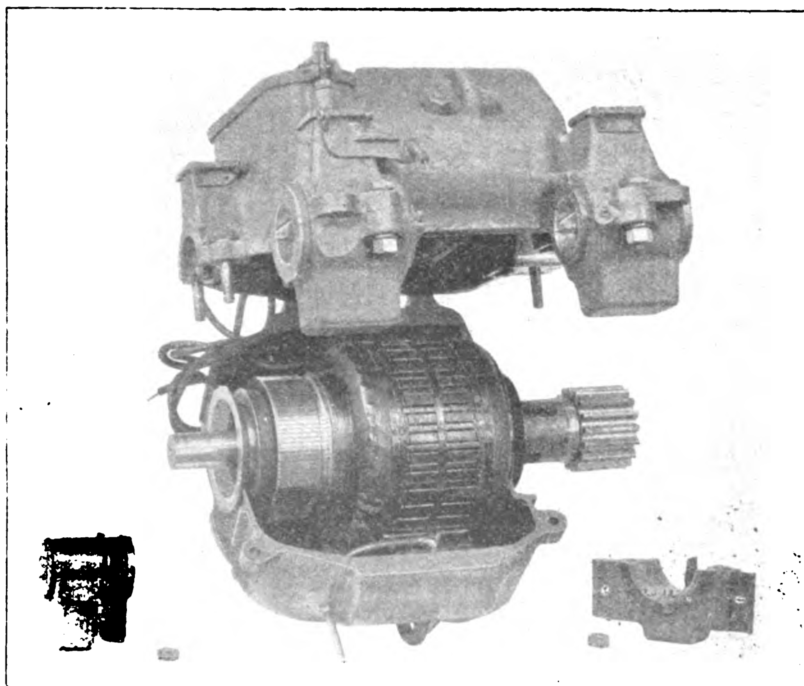


Fig. 4. — Moteur GE-58 ouvert, induit prêt à être retiré.

cédente, sert à l'enlèvement des matières étrangères qui pourraient s'accumuler dans la

partie inférieure de l'enveloppe. Chacune de ces ouvertures est fermée par un couvercle qui

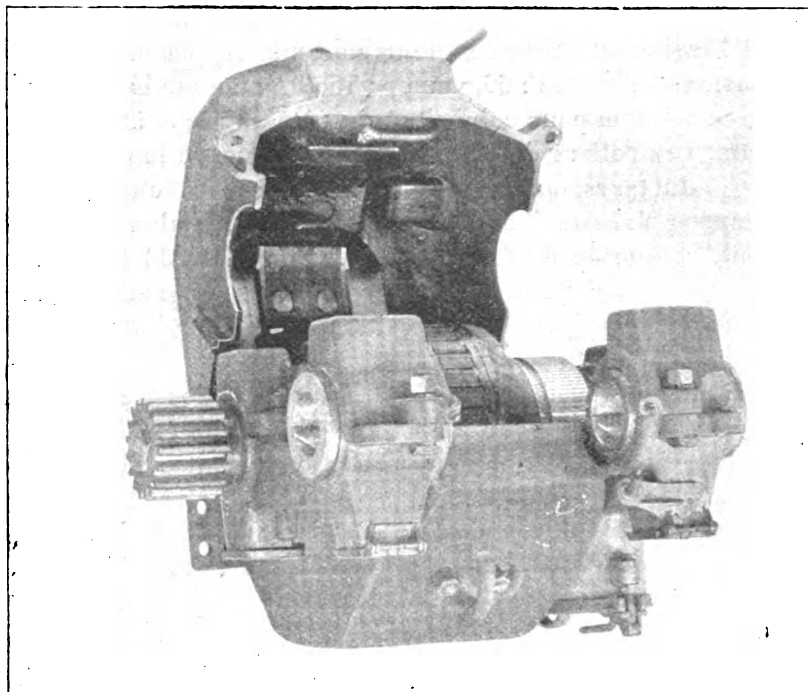


Fig. 5. — Moteur GE-58 ouvert, induit en place.

peut être rapidement enlevé et remis en place. Les dimensions d'encombrement de l'enveloppe sont : longueur (dans le sens de l'essieu) 928 mm; largeur, depuis l'anneau de sus-

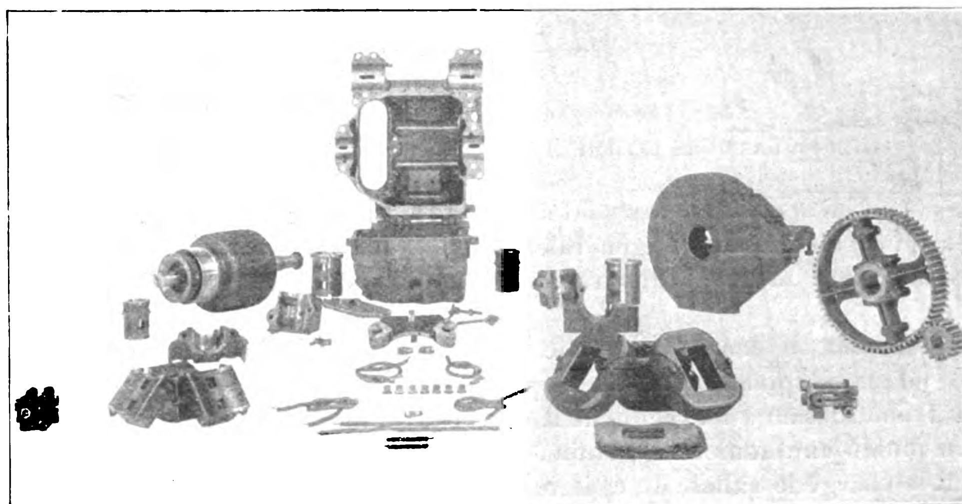


Fig. 6. — Pièces détachées du moteur GE-58.

pension jusqu'à l'axe de l'essieu, 749 mm ; hauteur 657 mm dont 346 mm au-dessus de l'axe de l'essieu.

Les paliers des moteurs sont composés de deux parties portant chacune une moitié des coussinets. L'une des parties est coulée avec l'enveloppe supérieure du moteur; l'autre, indépendante, comme on peut le voir sur la figure 4, vient se fixer à la première au moyen de boulons, lorsque l'essieu et l'arbre moteur sont mis en place. Les paliers de l'arbre moteur ont les dimensions suivantes : 66,7 mm × 160,3 mm pour le palier situé du côté du collecteur, et 76 mm × 200 mm pour celui situé du côté du pignon; les coussinets ont une longueur de 203,2 mm. Les paliers de l'essieu ont 203,2 mm de longueur.

Les bobines des inducteurs, au nombre de quatre, sont enroulées sur des pièces polaires en tôles laminées, fixées à l'enveloppe au moyen de boulons et d'écrous extérieurs. L'armature de l'induit, composée de feuilles de tôle, présente 33 trous dans chacun desquels se placent 3 bobines. Ces dernières sont connectées de manière à former une triple bobine reliée à une lame du collecteur, disposition qui a pour but de faciliter les réparations.

L'isolement des inducteurs et de l'induit est assuré par des tresses d'amiante; il peut résister à une différence de potentiel alternative de 5 000 volts établie entre la masse et les bobines inductrices et à une différence de 2 500 volts entre la masse et les bobines induites.

Le collecteur, d'un diamètre de 250 mm, est formé de 99 lames de 25 mm d'épaisseur et de 110 mm de longueur; les essais d'isolement sont faits à 5 000 volts entre les lames et la masse et à 500 volts entre les divers segments. Chacun des porte-balais est muni de deux balais en charbon.

Le moteur complet, sans la roue ni la boîte d'engrenages, pèse 848 kg, dont 220 kg pour l'induit et le pignon; la roue d'engrenage pèse 69 kg, la boîte 60 kg. Le poids total est donc de 977 kg.

Combinateur. — Le combinateur est du type série parallèle avec soufflage magnétique. Il est muni de sept crans dont quatre avec résistances pour la marche en série et trois avec résistances pour la marche en parallèle.

ACCUMULATEURS COMMELIN ET VIAU A GAZ SOUS PRESSION (1)

Principe. — Ces accumulateurs sont caractérisés par l'emploi, comme électrolyte, d'une dissolution d'un sel métallique (généralement le sulfate de cadmium) et par l'utilisation pendant la décharge du gaz (ordinairement l'oxygène) qui s'est dégagé pendant la charge sur l'anode.

Chaque élément se compose, comme l'indique la figure 1 représentant un modèle de laboratoire : d'un récipient V en verre épais fermé par un couvercle que traversent deux tubes S et T aboutissant à un récipient R en verre; d'un charbon creux et poreux C; d'un cylindre en plomb antimonieux P; enfin, d'un manomètre M.

Pendant la charge le sulfate de cadmium qui forme l'électrolyte est décomposé et donne un dépôt de cadmium sur la cathode P et de l'oxygène sur l'anode C. Cet oxygène s'accumule

(1) Exposés par la Société des Accumulateurs électriques à gaz sous pression et des accumulateurs électriques légers à haute tension, classe 34.

à la partie supérieure du vase V, se rend dans le réservoir par le tube T et de là, par le

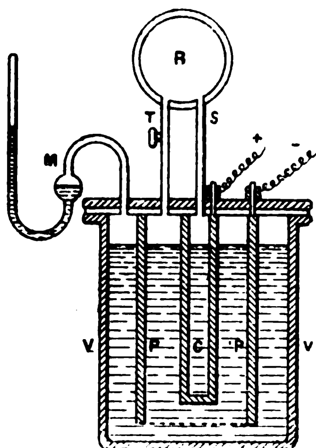


Fig. 1. — Coupe d'un accumulateur Commelin et Viau à gaz sous pression (modèle de laboratoire).

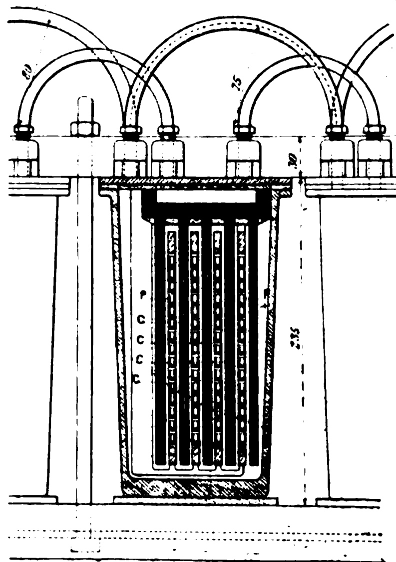


Fig. 2. — Coupe d'un élément du type industriel.

tube S, à l'intérieur du charbon creux. La pression se trouve ainsi la même de part et

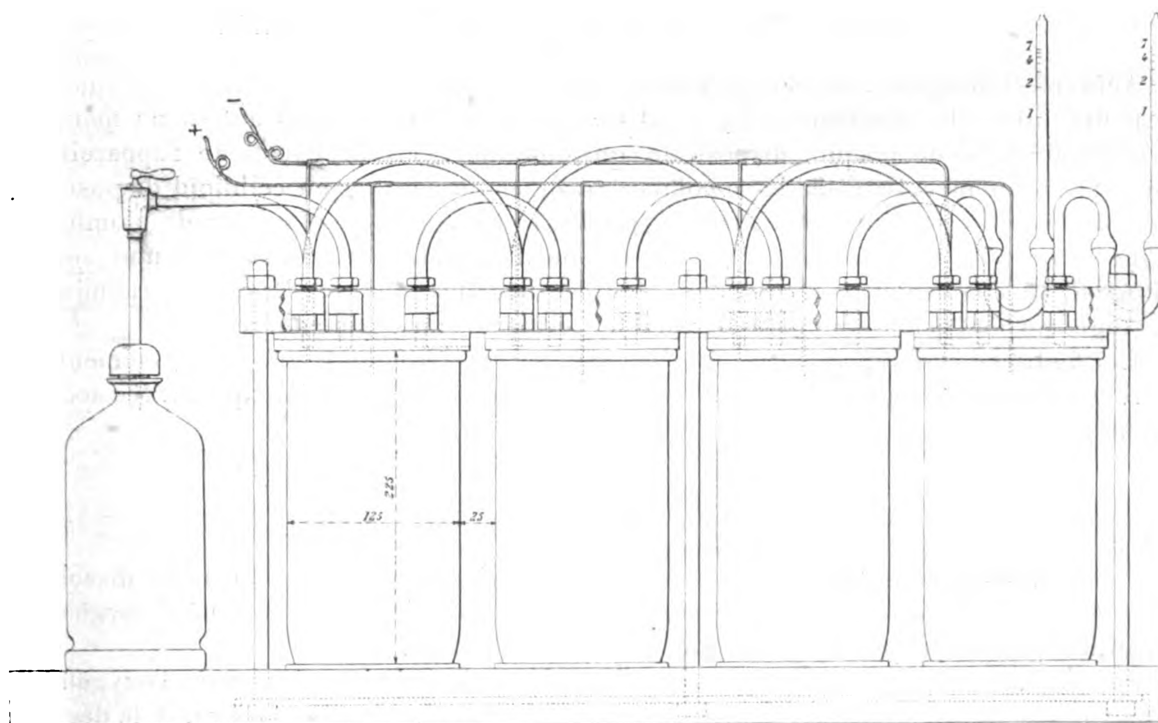


Fig. 3. — Élévation d'une batterie de quatre éléments.

d'autre des parois de ce charbon et l'électrolyte n'y pénètre pas. On arrête la charge quand la pression de l'oxygène atteint 1 kg : cm².

Pour la décharge on met dans la position de fermeture le robinet placé sur le tube T et l'on réunit les deux pôles au circuit de décharge. L'acide sulfurique formé par la charge est décomposé en SO^4 qui se porte sur le cadmium recouvrant l'électrode P et donne du sulfate de cadmium, et en hydrogène H^2 qui se combine avec l'oxygène accumulé dans

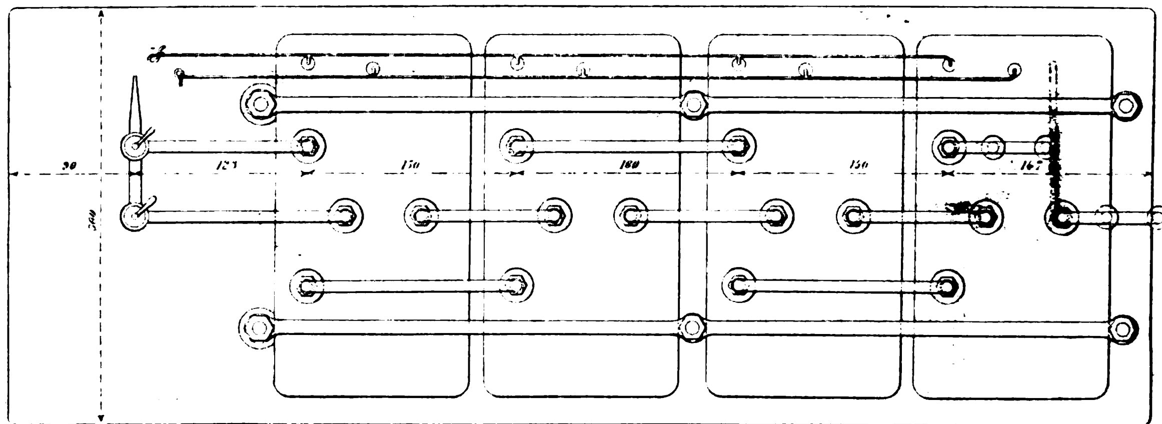


Fig. 4. — Plan d'une batterie de quatre éléments.

les pores du charbon C. La pression diminue alors dans le vase V et l'oxygène contenu à l'intérieur du charbon passe à travers les pores de celui-ci jusqu'à ce que la pression ait repris sa valeur initiale.

La force électromotrice d'un élément de ce genre est de 1,5 volt.

Appareil industriel. — Dans l'appareil industriel l'anode est constituée par une série de petits tubes de charbons C (fig. 2) disposés les uns à côté des autres de manière à former une sorte de plaque, disposition qui diminue l'encombrement de l'appareil pour une capacité donnée. La cathode se compose d'auges ou nacelles en celluloïd disposées les unes au-dessus des autres et au fond desquelles se trouve une petite lame de plomb P qui règne d'un bout à l'autre de la nacelle et dont l'extrémité est réunie par une soudure autogène au conducteur négatif ; c'est sur ces lamelles que se dépose le cadmium et les auges en empêchent la chute lorsqu'il ne forme pas un dépôt adhérent.

Les figures 3 et 4 représentent en élévation et en plan, une batterie de 4 éléments.

Nous n'avons pu obtenir la communication des résultats des essais faits sur ces accumulateurs.

ACCUMULATEURS COMMELIN ET VIAU, LÉGERS ET A HAUTE TENSION

Principe. — Comme dans les accumulateurs précédents l'électrolyte est une dissolution de sulfate de cadmium ; mais l'anode, au lieu d'être un charbon imprégné d'oxygène, est constituée par une plaque à pastilles de peroxyde de plomb.

Pendant la charge, la décomposition du sulfate de cadmium donne de l'oxygène qui peroxyde les pastilles et du cadmium qui se dépose sur la plaque négative. A la décharge il y a réduction du peroyxde et dissolution du cadmium déposé.

La force électromotrice d'un élément est de 2,20 volts.

Description. — Dans le but de diminuer le poids, les plaques positives sont formées

d'un quadrillage en ébonite (fig. 1) sur lequel est rivé au plomb un cadre conducteur (fig. 2); dans le quadrillage est logée la matière active.

Les plaques négatives (fig. 3 et 4) se composent d'une feuille en matière isolante (celluloïd, ébonite, etc.) sur les deux côtés de laquelle est appliquée une feuille de plomb de 0,2 mm. d'épaisseur. Normalement à la surface de ces feuilles sont disposées de petites ailettes en celluloïd qui empêchent la chute du cadmium lorsqu'il n'adhère pas suffisamment au plomb ; on donne à ces ailettes une légère inclinaison de part et d'autre de leur milieu pour faciliter le dégagement des gaz qui se produisent à la fin de la charge. On peut remplacer la feuille isolante doublée de plomb par une lame de charbon, et diminuer ainsi le poids des plaques.

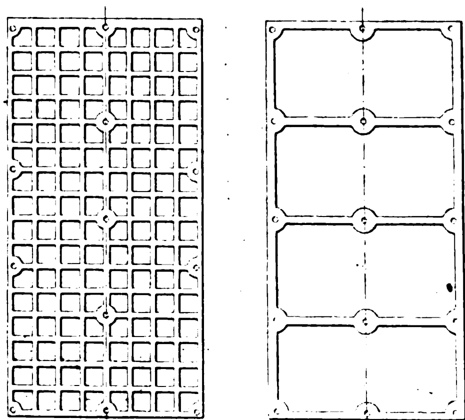


Fig. 1 et 2. — Plaque positive.

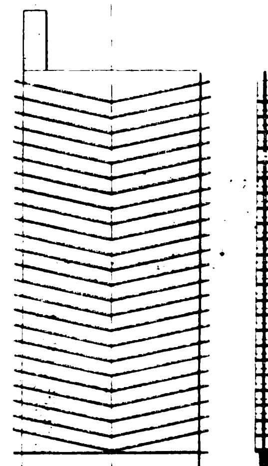


Fig. 3 et 4. Plaque négative.

Une feuille de celluloïd perforé est placée entre les plaques positives et les plaques négatives, qui sont serrées les unes contre les autres.

Essais. — Les essais auxquels ont été soumis ces accumulateurs ont montré qu'il n'y a aucun inconvénient à pousser la décharge très loin : jusqu'à ce que la différence de potentiel tombe au-dessous d'un volt. Cette circonstance et la force électromotrice élevée que possèdent les éléments au début de la décharge permettent d'obtenir une capacité considérable : 30 ampères-heure par kilogramme d'électrodes lorsque les plaques négatives sont en ébonite doublé de plomb, de 40 ampères-heure quand ces plaques sont en charbon.

Les figures 5 et 6 représentent les courbes de variation de la différence de potentiel aux

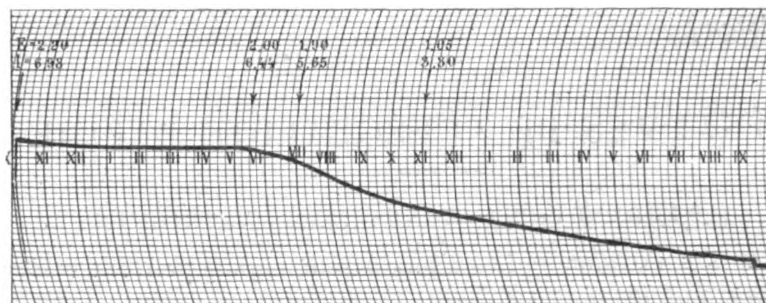


Fig. 5. — Courbe de décharge d'un élément à plaques négatives en plomb.

bornes pendant la décharge d'un élément à négatives du premier genre, comprenant 5 négatives pesant ensemble 700 grammes, et 5 positives pesant ensemble 2065 grammes. Ces courbes montrent que la différence de potentiel, qui est de 2,20 volts au début, ne tombe à 1,05 volt qu'après 13 heures dans l'essai du 22 avril et après 17 heures dans l'essai du

28 avril, la concentration de l'électrolyte ayant été augmentée dans l'intervalle des deux essais. La quantité d'électricité débitée ayant été de 77,25 ampères-heure dans le premier

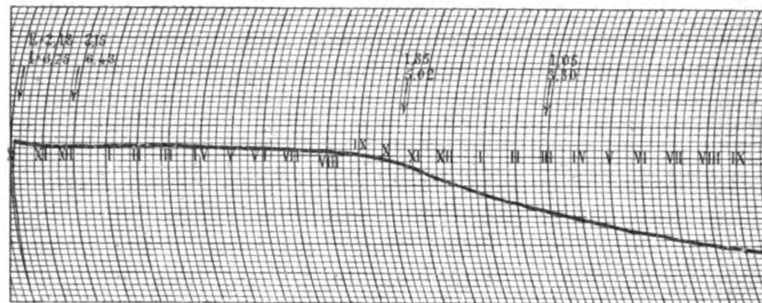


Fig. 6. — Courbe de décharge d'un élément à plaques négatives en plomb.

essai et de 91,96 ampères-heure dans le second, la capacité rapportée au kilogramme de plaques se trouve être de $\frac{77,25}{2,76} = 28$ dans le premier cas, et de $\frac{91,96}{2,76} = 33$ dans le second.

La figure 7 représente une courbe obtenue avec un accumulateur formé d'une plaque

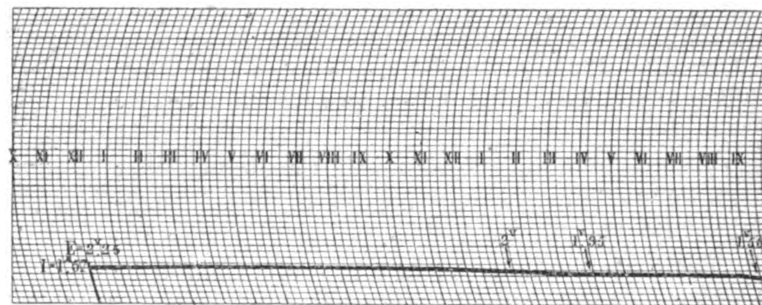


Fig. 7. — Courbe de décharge d'un élément à plaques négatives en charbon.

positive pesant 500 grammes et deux plaques négatives en charbon pesant ensemble 300 grammes. La décharge ayant été prolongée pendant 21 heures et demie, la quantité d'électricité débitée fut de 31,72 ampères-heure, soit $\frac{31,72}{0,8} = 39,65$ ampères-heure par kilogramme de plaques.

SYSTÈMES DE TÉLÉGRAPHIE RAPIDE [1]

ALPHABETS DE SIGNES TÉLÉGRAPHIQUES

Leur usage chez les anciens. — Les alphabets de signes peuvent varier à l'infini. Leur usage remonte aux temps les plus reculés.

Si haut, en effet, que l'on remonte dans l'histoire du monde on trouve trace de moyens employés pour correspondre au loin et la lecture des auteurs grecs où l'on trouve de nombreux mots relatifs à ce sujet ne laisse aucun doute sur l'emploi de véritables méthodes de transmission des signaux.

(1) Voir *L'Éclairage Électrique* du 19 mai, du 2 et du 9 juin, p. 241, 328 et 367.

De tous ces moyens nous n'en mentionnerons ici que deux, l'un parce qu'il est un premier exemple de système de télégraphe à synchronisme, l'autre parce qu'il est également un premier exemple de la division des lettres de l'alphabet en groupes, division que pratique M. Munier, comme nous l'avons vu antérieurement.

Le premier exemple est celui que Polybe décrit de la manière suivante :

« Plusieurs personnes se placent à de grandes distances chacune avec un grand vase de même grandeur et contenant une même quantité d'eau ; sur les côtés de chaque vase est un trou d'égal diamètre pour tous ; un morceau de liège sur lequel est planté un bâton perpendiculaire divisé par parties égales, nage sur l'eau des vases; chaque division contient une des phrases qu'on veut transmettre et les *stationnaires* sont munis de torches. Lorsque le premier élève sa torche il débouche en même temps le trou du vase ; le second en élevant sa torche débouche en même temps le trou de son vase et cette manœuvre a lieu à chaque station. Quand l'eau du vase est assez écoulée pour que la division qui porte l'ordre se trouve vis-à-vis le bord, le premier stationnaire donne le signal d'arrêt en élevant sa torche et en remettant le bouchon ; les autres agissent de la même manière et connaissent ainsi ce que le premier a voulu leur faire savoir. »

Ce n'est là en somme que le *clepsydre* dans lequel on a remplacé les indications d'heures par des phrases convenues à l'avance [1].

Mais toutes les méthodes avec lesquelles on ne pouvait transmettre que des phrases convenues à l'avance furent jugées insuffisantes et on chercha les moyens de transmettre toute espèce de nouvelles. Au IIIe siècle avant notre ère, Cléomène et Démocrite employaient 8 chaudières dans lesquelles on allumait des feux.

On accompagnait ces chaudières de trois fanaux accessoires.

Chacune des chaudières servait à indiquer une des parties de l'alphabet grec qu'on avait divisé en 8 groupes de 3 lettres.

Chaque fanal précisait dans le groupe la lettre qu'on voulait désigner et on cachait à l'aide d'écrans les feux qui ne devaient pas être vus.

Polybe améliora le procédé en divisant l'alphabet en 5 groupes dont 4 de 5 lettres et un de quatre.

Il élevait aux deux côtés d'une direction donnée des torches dont le nombre désignait sur un côté le numéro d'un groupe et sur l'autre côté la place qu'occupait dans ce groupe la lettre considérée.

Par exemple une torche de chaque côté pouvait désigner α, puis cinq torches d'un côté et quatre de l'autre ω.

Suivant M. Stéphane Perrot, Persée, fils de Philippe de Macédoine, employa ce système dans toutes ses expéditions militaires et notamment dans la guerre qu'il soutint contre la ligue achéenne.

Systèmes de numération. — Tous les systèmes de numération peuvent servir à constituer des alphabets télégraphiques.

Le problème à résoudre étant de représenter un grand nombre d'objets avec un petit nombre de signes pris isolément ou en combinaisons, le progrès est en conséquence dans l'augmentation du nombre des signes distincts afin de ne pas avoir à les répéter autant pour

[1] A la fin du siècle dernier, Claude Chappe, l'inventeur du télégraphe aérien, essaya un système de ce genre. L'horloge avec laquelle il fit ses essais pourrait avoir sa place à notre musée des arts et métiers, mais elle est encore, croyons-nous, religieusement conservée par les membres de sa famille.

représenter les objets, autrement dit : plus les signes distincts sont nombreux, moins est grand le nombre des signes nécessaires pour représenter chaque objet.

Chaque signe ou combinaison de signes forme une figure ou signal complexe qui, en télégraphie, permet de représenter une lettre ou une phrase et en arithmétique un nombre déterminé.

En télégraphie, le nombre des figures ou signaux distincts nécessaires pour la représentation des lettres étant restreint, il en résulte que, pratiquement, on peut reconnaître à première vue le groupe des signes correspondant à telle ou telle lettre et le traduire.

Il n'en est pas de même en arithmétique où le nombre des valeurs à exprimer est presque infini et où il serait impossible de se souvenir que tel ou tel groupement de signes correspond à telle ou telle valeur, aussi a-t-il été indispensable d'employer une méthode rationnelle pour traduire à première vue un groupe quelconque. C'est cette méthode qui s'appelle la *numération*.

Les systèmes de numération ne diffèrent que par le nombre de signes qu'ils emploient.

La numération binaire n'en a que 2 que nous représentons par + et o en télégraphie et 1 et o en arithmétique.

La numération ternaire en a 3 qui, en télégraphie se représentent par +, —, o.

La numération décimale en a 10 qui se représentent par o, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9.

Il y a aussi la numération quaternaire qui est employée dans les langues californiennes, ce qui indique que ces langues sont d'une grande simplicité.

Mais nous n'avons à nous occuper spécialement que des numérations binaire et ternaire qui servent de base aux alphabets de signes télégraphiques.

La différence entre les deux est si considérable que nous croyons intéressant d'en donner ici l'explication mathématique.

Dans tous les systèmes de numération chaque chiffre ou signe possède deux valeurs : 1° la valeur qui lui est propre et qu'il faut connaître ; 2° la valeur qui lui est donnée par le rang qu'il occupe dans un groupe. Cette deuxième valeur multiplie la première par un coefficient qui dépend du rang occupé. Ainsi le premier rang à droite donne au chiffre qui l'occupe le coefficient n^0, le deuxième n^1, le troisième n^2, le quatrième n^3, le cinquième n^4, etc., etc..., n étant le nombre de signes distincts utilisés dans le système de numération considéré.

Tableau A

	2	1
1	+	+
2	+	
3		+

D'où il résulte que dans la numération binaire où le nombre des signes distincts est de deux (+ et o) le premier signe à droite multiplie sa valeur par $2^0 = 1$, le 2e par $2^1 = 2$, le 3e par $2^2 = 4$, etc..., ce qui indique que si nous avons à former, par exemple, 30 groupes différents de signes, il nous faudra par groupe un nombre maximum de signes que nous pouvons trouver par le raisonnement suivant : Puisque le 1er signe à droite vaut 1 ; le 2e, 2 ; le 3e, 4, nous pouvons donc, avec le même signe + placé sur 2 rangs, c'est-à-dire répété deux fois, former un nombre de signaux égal à $(2^0 = 1) + (2^1 = 2) = 3$ (tableau A).

En le plaçant sur 3 rangs nous aurons (tableau B) :

1er rang. . . . . $2^0 = 1$
2e — . . . . $2^1 = 2$
3e — . . . . $2^2 = 4$

Total . . . . . 7 figures.

Tableau B

	1	2	3
1	+	+	+
2	+	+	
3		+	+
4	+		+
5	+		
6		+	
7			+

En le plaçant sur 4 rangs nous aurons (tableau C) :

1er rang.	$2^0 = 1$
2e —	$2^1 = 2$
3e —	$2^2 = 4$
4e —	$2^3 = 8$
Total	15 figures.

Tableau C

	1	2	3	4
1	+	+	+	+
2	+	+	+	
3	+	+		+
4	+	+		
5	+		+	+
6	+		+	
7	+			+
8	+			
9		+	+	+
10		+	+	
11		+		+
12		+		
13			+	+
14			+	
15				+

En le plaçant sur 5 rangs nous aurons :

1er rang.	$2^0 = 1$
2e —	$2^1 = 2$
3e —	$2^2 = 4$
4e —	$2^3 = 8$
5e —	$2^4 = 16$
Total.	31 combinaisons.

C'est la somme des combinaisons effectives dans laquelle la combinaison zéro n'est pas comprise.

On obtient ainsi le tableau D de 31 signaux. Ce qui indique qu'avec la combinaison binaire le signe + doit se répéter jusqu'à cinq fois pour former 31 combinaisons.

Si au contraire nous représentons les cinq rangs par 2^5,

Le 1er rang sera représenté par. . . .	$2^1 = 2$
Le 2e — —	$2^2 = 4$
Le 3e — —	$2^3 = 8$
Le 4e — —	$2^4 = 16$
Le 5e — —	$2^5 = 32$

On forme dans ce cas le tableau E de 32 signaux dans lequel la combinaison zéro est comprise.

L'ordre dans lequel se présentent les combinaisons dans un tableau formé méthodiquement comme le tableau D nous montre bien la progression géométrique signalée par M. Mimault et dont nous avons parlé plus haut ; c'est cet ordre et cette progression qu'observa M. Baudot dans son premier tableau de manipulation qui était semblable au tableau D,

avec cette différence que le signe o est remplacé par le signe —, M. Baudot s'étant servi des deux signes + et — afin d'avoir deux émissions dont une dite *de travail* et l'autre dite *de repos*.

TABLEAU D

	5	4	3	2	1
1	+	+	+	+	+
2	+	+	+	+	
3	+	+	+		+
4	+	+	+		
5	+	+		+	+
6	+	+		+	
7	+	+			+
8	+	+			
9	+		+	+	+
10	+		+	+	
11	+		+		+
12	+		+		
13	+			+	+
14	+			+	
15	+				+
16	+				
17		+	+	+	+
18		+	+	+	
19		+	+		+
20		+	+		
21		+		+	+
22		+		+	
23		+			+
24		+			
25			+	+	+
26			+	+	
27			+		+
28			+		
29				+	+
30				+	
31					+

TABLEAU E

	5	4	3	2	1
1					+
2				+	+
3				+	
4			+	+	
5			+	+	+
6			+		+
7			+		
8		+	+		
9		+	+		+
10		+	+	+	+
11		+	+	+	
12		+		+	
13		+		+	+
14		+			+
15		+			
16	+	+			
17	+	+			+
18	+	+		+	+
19	+	+		+	
20	+	+	+	+	
21	+	+	+	+	+
22	+	+	+		+
23	+	+	+		
25	+		+		
24	+		+		+
26	+		+	+	+
27	+		+	+	
28	+			+	
29	+			+	+
30	+				+
31	+				
32	o		o	o	o

TABLEAU F (*Baudot*)

1	+	—	—	—	—	A
2	—	+	—	—	—	E
3	—	—	+	—	—	Y
4	+	—	—	+		J
5	—	+	—	—	+	X
6	+	—	+	—	—	U
7	—	+	—	+		G
8	+	—	+	—	+	T
9	+	+		+	—	H
10	—	+	+	—	+	W
11	+	—	+	+	—	C
12	—	+	—	+	+	M
13	—	—	+	—	+	S
14	—	—	—	+	—	Blanc.
15	+	—	—	—	+	T
16	+	+	—	—	—	E
17	—	+	+	—	—	I
18	—	—	+	+	—	B
19	+	—	—	+	+	K
20	+	+	—	—	+	Z
21	+	+	+	—	—	O
22	+	+	+	+	—	D
23	+	+	+	+	+	P
24	—	+	+	+	+	N
25	+	—	+	+	+	Q
26	+	+	—	+	+	L
27	+	+	+	—	+	V
28	—	+	+	+	—	F
29	—	—	+	+	+	R
30	—	—	—	+	+	X
31					+	Blanc.

M. Baudot modifia ensuite l'ordre des combinaisons pour des raisons que nous ignorons mais qui doivent tenir à des questions de pratique.

D'ailleurs l'ordre des combinaisons dans ce tableau n'a qu'une importance relative. Mais dans la numération ternaire dont nous allons nous occuper, l'ordre dans lequel on place les combinaisons peut acquérir une importance capitale comme nous le verrons par la suite.

TABLEAU G

	2	1
1	+	+
2	—	—
3	—	+
4	+	—
5		—
6		+
7	—	
8	+	

NUMÉRATION TERNAIRE. — Dans la numération ternaire le nombre des combinaisons est toujours égal à une puissance de 3 moins 1, quel que soit le nombre des signes élémentaires employés à leur formation.

Ainsi le nombre des combinaisons pour un seul rang est de $(3^1 + 1) = 2$.

Pour 2 rangs il est de $(3^2 - 1) = 8$ (tableau G).

Pour 3 rangs $(3^3 - 1) = 26$.

Ces 26 combinaisons sont celles que Davy et Highton essayèrent d'utiliser comme nous l'avons vu précédemment [1].

[1] Voir ce tableau p. 368.

TABLEAU G *des combinaisons de la numération ternaire sur 5 rangs :* $3^5 - 1 = 242$.

	5	4	3	2	1
1	+	+	+	+	+
2	+	+	+	+	—
3	+	+	+	+	o
4	+	+	+	—	+
5	+	+	+	—	—
6	+	+	+	—	o
7	+	+	+	o	+
8	+	+	+	o	—
9	+	+	+	o	o
10	+	+	—	+	+
11	+	+	—	+	—
12	+	+	—	+	o
13	+	+	—	—	+
14	+	+	—	—	—
15	+	+	—	—	o
16	+	+	—	o	+
17	+	+	—	o	—
18	+	+	—	o	o
19	+	+	o	+	+
20	+	+	o	+	—
21	+	+	o	+	o
22	+	+	o	—	+
23	+	+	o	—	—
24	+	+	o	—	o
25	+	+	o	o	+
26	+	+	o	o	—
27	+	+	o	o	o
28	+	—	+	+	+
29	+	—	+	+	—
30	+	—	+	+	o
31	+	—	+	—	+
32	+	—	+	—	—
33	+	—	+	—	o
34	+	—	+	o	+
35	+	—	+	o	—
36	+	—	+	o	o
37	+	—	—	+	+
38	+	—	—	+	—
39	+	—	—	+	o
40	+	—	—	—	+
41	+	—	—	—	—
42	+	—	—	—	o
43	+	—	—	o	+
44	+	—	—	o	—
45	+	—	—	o	o
46	+	—	o	+	+
47	+	—	o	+	—
48	+	—	o	+	o
49	+	—	o	—	+
50	+	—	o	—	—
51	+	—	o	—	o
52	+	—	o	o	+
53	+	—	o	o	—
54	+	—	o	o	o
55	+	o	+	+	+
56	+	o	+	+	—
57	+	o	+	+	o
58	+	o	+	—	+
59	+	o	+	—	—
60	+	o	+	—	o
61	+	o	+	o	+

	5	4	3	2	1	
62	+	o	+	o	—	
63	+	o	+	o	o	2
64	+	o	—	+	+	
65	+	o	—	+	—	
66	+	o	—	+	o	
67	+	o	—	—	+	
68	+	o	—	—	—	
69	+	o	—	—	o	
70	+	o	—	o	+	
71	+	o	—	o	—	
72		o	—	o	o	4
73	+	o	o	+	+	
74	+	o	o	+	—	
75		o	o		o	16
76	+	o	o	—	+	
77	+	o	o	—	—	
78	+	o	o	—	o	12
79		o	o	o		26
80		o	o	o	—	20
81		o	o	o	o	6
82	—	+	+	+	+	
83	—	+	+	+	—	
84	—	+	+	+	o	
85	—	+	+	—	+	
86	—	+	+	—	—	
87	—	+	+	—	o	
88	—	+	+	o	+	
89	—	+	+	o	—	
90	—	+	+	o	o	
91	—	+	—	+	+	
92	—	+	—	+	—	
93	—	+	—	+	o	
94	—	+	—	—	+	
95	—	+	—	—	—	
96	—	+	—	—	o	
97	—	+	—	o	+	
98	—	+	—	o	—	
99	—	+	—	o	o	
100	—	+	o	+	+	
101	—	+	o	+	—	
102	—	+	o	+	o	
103	—	+	o	—	+	
104	—	+	o	—	—	
105	—	+	o	—	o	
106	—	+	o	o	+	
107	—	+	o	o	—	
108	—	+	o	o	o	
109	—	—	+	+	+	
110	—	—	+	+	—	
111	—	—	+	+	o	
112	—	—	+	—	+	
113	—	—	+	—	—	
114	—	—	+	—	o	
115	—	—	+	o	+	
116	—	—	+	o	—	
117	—	—	+	o	o	
118	—	—	—	+	+	
119	—	—	—	+	—	
120	—	—	—	+	o	
121	—	—	—	—	+	
122	—	—	—	—	—	

	5	4	3	2	1	
123	—	—	—	—	o	
124	—	—	—	o	+	
125	—	—	—	o	—	
126	—	—	—	o	o	
127	—	—	o	+	+	
128	—	—	o	+	—	
129	—	—	o	+	o	
130	—	—	o	—	+	
131	—	—	o	—	—	
132	—	—	o	—	o	
133	—	—	o	o	+	
134	—	—	o	o	—	
135	—	—	o	o	o	
136	—	o	+	+	+	
137	—	o	+	+	—	
138	—	o	+	+	o	
139	—	o	+	—	+	
140	—	o	+	—	—	
141	—	o	+	—	o	
142	—	o	+	o	+	
143	—	o	+	o	—	
144	—	o	+	o	o	1
145	—	o	—	+	+	
146	—	o	—	+	—	
147	—	o	—	+	o	
148	—	o	—	—	+	
149	—	o	—	—	—	
150	—	o	—	—	o	
151	—	o	—	o	+	
152	—	o	—	o	—	
153	—	o	—	o	o	3
154	—	o	o	+	+	
155	—	o	o	+	—	
156	—	o	o	+	o	15
157	—	o	o	—	+	
158	—	o	o	—	—	
159	—	o	o	—	o	11
160	—	o	o	o	+	25
161	—	o	o	o	—	19
162	—	o	o	o	o	5
163	o	+	+	+	+	
164	o	+	+	+	—	
165	o	+	+	+	o	
166	o	+	+	—	+	
167	o	+	+	—	—	
168	o	+	+	—	o	
169	o	+	+	o	+	
170	o	+	+	o	—	
171	o	+	+	o	o	
172	o	+	—	+	+	
173	o	+	—	+	—	
174	o	+	—	+	o	
175	o	+	—	—	+	
176	o	+	—	—	—	
177	o	+	—	—	o	
178	o	+	—	o	+	
179	o	+	—	o	—	
180	o	+	—	o	o	
181	o	+	o	+	+	
182	o	+	o	+	—	
183	o	+	o	+	o	18

	5	4	3	2	1	
184	o	+	o	—	+	
185	o	+	o	—	—	
186	o	+	o	—	o	14
187	o	+	o	o	+	28
188	o	+	o	o	—	22
189	o	+	o	o	o	8
190	o	—	+	+	+	
191	o	—	+	+	—	
192	o	—	+	+	o	
193	o	—	+	—	+	
194	o	—	+	—	—	
195	o	—	+	—	o	
196	o	—	+	o	+	
197	o	—	+	o	—	
198	o	—	+	o	o	
199	o	—	—	+	+	
200	o	—	—	+	—	
201	o	—	—	+	o	
202	o	—	—	—	+	
203	o	—	—	—	—	
204	o	—	—	—	o	
205	o	—	—	o	+	
206	o	—	—	o	—	
207	o	—	—	o	o	
208	o	—	o	+	+	
209	o	—	o	+	—	
210	o	—	o	+	o	17
211	o	—	o	—	+	
212	o	—	o	—	—	
213	o	—	o	—	o	13
214	o	—	o	o	+	27
215	o	—	o	o	—	21
216	o	—	o	o	o	7
217	o	o	+	+	+	
218	o	o	+	+	—	
219	o	o	+	+	o	
220	o	o	+	—	+	
221	o	o	+	—	—	
222	o	o	+	—	o	
223	o	o	+	o		30
224	o	o	+	o	—	24
225	o	o	+	o	o	10
226	o	o	—	+	+	
227	o	o	—	+	—	
228	o	o	—	+	o	
229	o	o	—	—	+	
230	o	o	—	—	—	
231	o	o	—	—	o	
232	o	o	—	o	+	29
233	o	o	—	o	—	23
234	o	o	—	o	o	9
235	o	o	o	+	+	
236	o	o	o	+	—	
237	o	o	o	+	o	
238	o	o	o	—	+	
239	o	o	o	—	—	
240	o	o	o	—	o	
241	o	o	o	o	+	
242	o	o	o	o	—	

Pour 4 rangs $(3^4 - 1) = 80$.

C'est dans ces 80 combinaisons que se trouvent les 30 du tableau Thomson que nous donnerons dans notre exposé des codes télégraphiques et les 28 du tableau Munier pour son appareil à 4 fils ou *moments* par secteur du distributeur.

Pour 5 rangs le nombre des combinaisons est de $3^5 - 1 = 242$.

Nous donnons le tableau général II des combinaisons de la numération ternaire avec 5 signes parce que c'est de ce tableau général que sont extraites les combinaisons en face desquelles M. Munier se trouva en formant son premier tableau d'après la *division des lettres de l'alphabet en séries*.

Codes télégraphiques. — Nous entendons par codes télégraphiques les divers tableaux de signaux utilisés jusqu'à ce jour pour la télégraphie électrique.

Code n° I. — (Hughes)

28 *signaux simples*. 28 *fils ou* moments. — *Un seul dans le sens du courant.* —

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
1 A	+																											
2 B		+																										
3 C			+																									
4 D				+																								
5 E					+																							
6 F						+																						
7 G							+																					
8 H								+																				
9 I									+																			
0 J										+																		
. K											+																	
, L												+																
; M													+															
: N														+														
? O															+													
! P																+												
Q																	+											
+ R																		+										
— S																			+									
§ T																				+								
/ U																					+							
= V																						+						
□																							+					
" É																								+				
) X																									+			
(Y																										+		
" Z																											+	
□																												+

Ces codes sont au nombre de 9 que nous pouvons diviser en 4 catégories :

La première catégorie renferme les codes à signaux simples et uniques avec durée unique (Hughes, Olsen).

La deuxième catégorie les codes à signaux complexes formés de signes simples d'une durée unique et n'utilisant qu'un sens du courant (Whitehouse, Mimault, Baudot, Morse [cinq fils].

La troisième catégorie les mêmes codes que la deuxième catégorie mais utilisant les deux sens du courant (Davy, Highton, Thomson, Baudot, Munier).

La quatrième catégorie les codes à signaux complexes formés de signes simples mais d'une *longueur inégale* et utilisant soit un seul sens, soit les deux sens du courant. L'inégalité de longueur s'obtenant soit par la durée de l'émission (Morse) soit par l'inversion du sens du courant (Wheatstone, Estienne, Hérodote.)

Nous classerons ces codes dans un ordre basé sur le nombre des signes simples composant chaque signal, c'est-à-dire chaque lettre de l'alphabet.

Les codes 1 et 2 se trouveront ainsi être ceux de Hughes et Olsen où chaque lettre est représentée par *un signe simple* d'une durée unique, le premier n'utilisant que l'*un ou l'autre* des deux sens du courant, le deuxième employant au contraire l'*un et l'autre*.

Code n° II (Olsen) (Appareils Hughes)

28 *signaux simples. — 14 fils ou* moments.

Utilisation des deux sens du courant.

		1 2	3 4	5 6	7 8	9 10	11 12	13 14	15 16	17 18	19 20	21 22	23 24	25 26	27 28
1	A	+													
2	B	—													
3	C		+												
4	D		—												
5	E			+											
6	F			—											
7	G				+										
8	H				—										
9	I					+									
0	J					—									
.	K						+								
,	L						—								
;	M							+							
:	N							—							
?	O								+						
!	P								—						
	Q									+					
+	R									—					
—	S										+				
$	T										—				
/	U											+			
=	V											—			
	□												+		
«	É												—		
)	X													+	
(	Y													—	
»	Z														+
	□														—

Codex n° III. (Munier)

30 *signaux simples et complexes. — 5 fils ou* moments.

Aucun signal ne présente 2 signes simples successifs

Utilisation des deux sens du courant.

Nouveau 1895.

	1	2	3	4	5	
1	—		+			□
2	+		+			A
3	—		—			B
4	+		—			C
5	—					D
6	+					E
7		—				F
8		+				G
9			—			H
10			+			I
11	—			—		J
12	+			—		K
13		—		—		L
14		+		—		M
15	—			+		N
16	+			+		O
17		—		+		P
18		+		+		Q
19	—				—	R
20	+				—	S
21		—			—	T
22		+			—	U
23			—		—	V
24			+		—	W
25	—				+	É
26	+				+	□
27		—			+	●
28		+			+	X
29			—		+	Y
30			+		+	Z

Ancien 1886.

	1	2	3	4	5	
1			—			□
2			+			A
3				—		B
4				+		C
5					—	D
6					+	E
7	—		—			F
8	—		+			G
9	—			—		H
10	—			+		I
11	—				—	J
12	—				+	K
13	+		—			L
14	+		+			M
15	+			—		N
16	+			+		O
17	+				—	P
18	+				+	Q
19		—	—			R
20		—	+			S
21		—		—		T
22		—		+		U
23		—			—	V
24		—			+	□
25		+	—			W
26		+	+			X
27		+		—		Y
28		+		+		Z
29		+			—	Inutilisées.
30		+			+	

Les codes n°s 3 et 5, ceux de Munier où chaque lettre est représentée par un signal complexe formé de *un ou deux signes simples* d'une durée unique avec utilisation des deux sens du courant.

Le code n° 4, celui de Davy et Highton où chaque lettre est représentée par un signal complexe formé de *un à trois signes simples* d'une durée unique avec utilisation des deux sens du courant.

Le code n° 6, celui de Morse (cinq fils), Whitehouse, Mimault, Baudot où chaque lettre

est représentée par un signal complexe formé de *un à cinq signes simples* d'une durée unique avec utilisation d'un seul sens du courant.

Le code n° 7, celui de Baudot. Ce code est en principe semblable au code n° 6 mais chaque lettre y est représentée par un signal complexe formé *régulièrement de cinq signes simples* avec utilisation des deux sens du courant : un sens pour placer les armatures des électros récepteurs dans leur *position de travail*, l'autre sens pour les ramener dans leur *position de repos*.

Le code n° 8, celui de Morse (un fil) où chaque lettre est représentée par un signal complexe formé de deux signes simples mais d'*inégale longueur* et se répétant un certain nombre de fois.

Code n° IV
(David Highton)

26 signaux simples et complexes.
3 fils ou moments.
Deux sens du courant.

	1	2	3
1		+	+
2		—	—
3		—	+
4		+	—
5			—
6			+
7		—	
8		+	
9	+	+	+
10	+	+	—
11	+	—	—
12	—	+	+
13	—	+	—
14	+	—	+
15	—	—	+
16	—	—	—
17	+		—
18	—		+
19	—		—
20	+		+
21	+	+	
22	—	—	
23	—	+	
24	+	—	
25	—		
26	+		

Code n° V
(Munier)

28 signaux simples ou complexes.
4 fils ou moments.
Deux sens du courant.

	1	2	3	4
1	—	—		
2	+	+		
3	—		—	
4	+		—	
5		—	—	
6		+	—	
7	—		+	
8	+		+	
9		—	+	
10		+	+	
11	—			—
12	+			—
13		—		—
14		+		—
15	—			+
16	+			+
17		—		+
18		+		+
19	—			
20	+			
21		—		
22		+		
23			—	—
24			+	+
25			—	
26			+	
27				—
28				+

Code n° VI
Morse, Witehouse, Mimault
Baudot

31 signaux simples et complexes.
5 fils ou moments.
Un seul sens du courant.

	5	4	3	2	1
1	+				
2		+			
3			+		
4				+	
5					+
6	+	+			
7	+		+		
8	+			+	
9	+				+
10		+	+		
11		+		+	
12		+			+
13			+	+	
14			+		+
15				+	+
16	+	+	+		
17	+	+		+	
18	+	+			+
19	+			+	+
20	+		+	+	
21	+		+		+
22		+	+		+
23		+		+	+
24		+	+	+	
25			+	+	+
26	+	+	+	+	
27	+	+		+	+
28	+		+	+	+
29	+	+	+		+
30		+	+	+	+
31	+	+	+	+	+

Code n° VII
(Baudot)

31 signaux simples et complexes.
5 fils ou moments.
Deux sens du courant.

	5	4	3	2	1
1	+	—	—	—	—
2	—	+	—	—	—
3	—	—	+	—	—
4	—	—	—	+	—
5	—	—	—	—	+
6	+	+	—	—	—
7	+	—	+	—	—
8	+	—	—	+	—
9	+	—	—	—	+
10	—	+	+	—	—
11	—	+	—	+	—
12	—	+	—	—	+
13	—	—	+	+	—
14	—	—	+	—	+
15	—	—	—	+	+
16	+	+	+	—	—
17	+	+	—	+	—
18	+	+	—	—	+
19	+	—	—	+	+
20	+	—	+	+	—
21	+	—	+	—	+
22	—	+	+	—	+
23	—	+	—	+	+
24	—	+	+	+	—
25	—	—	+	+	+
26	+	+	+	+	—
27	+	+	—	+	+
28	+	—	+	+	+
29	+	+	+	—	+
30	—	+	+	—	+
31	+	+	+	+	+

Le code n° 9, celui de Thomson où chaque lettre est représentée par un signal complexe formé de 1 à 4 signes simples d'une durée unique avec utilisation des deux sens du courant, un sens désignant les barres, l'autre les points.

Avantages et inconvénients des différents codes. — Nous allons maintenant étudier ces différents codes au point de vue des avantages et des inconvénients que chacun d'eux offre comme moyen de transmission.

Code n° VIII (Morse)

30 signaux simples et complexes.
Signes simples répétés jusqu'à 4 fois avec un seul sens du courant. Un seul fil.

E	—
T	———
I	— —
A	— ———
N	——— —
M	——— ———
S	— — —
D	——— — —
R	— ——— —
U	— — ———
G	——— ——— —
K	——— — ———
W	— — ———
O	——— ——— ———
H	— — — —
B	——— — — —
F	— — ——— —
L	— ——— — —
V	— — — ———
C	——— — ——— —
P	— ——— ——— —
X	——— — — ———
Z	——— ——— — —
ä	— ——— — ———
ü	— — ——— ———
S	— ——— ——— ———
Q	——— ——— — ———
Y	——— — ——— ———
ö	——— ——— ——— —
CH	——— ——— ——— ———

Code n° IX (Thomson)

30 signaux simples et complexes.
Signes simples répétés jusqu'à 4 fois.
Deux sens du courant. Un seul fil.

E	+			
T	—			
I	+	+		
A	+	—		
N	—	+		
M	—	—		
S	+	+	+	
D	—	+	+	
R	+	—	+	
U	+	+	—	
G	—	—	+	
K	—	+	—	
W	+	+	—	
O	—	—	—	
H	+	+	+	+
B	—	+	+	+
F	+	+	—	+
L	+	—	+	+
V	+	+	+	—
C	—	+	—	+
P	+	—	—	+
X	—	+	+	—
Z	—	—	+	+
ä	+	—	+	—
ü	+	+	—	—
J	+	—	—	—
Q	—	—	+	—
Y	—	+	—	—
ö	—	—	—	+
CH	—	—	—	—

Pendant les premières années de la télégraphie électrique un seul de ces codes pouvait être transmis par un seul fil, c'était le code n° 8 Morse et ce fut la cause de son succès et de son adoption universelle.

Tous les autres codes exigeaient un nombre de fils égal au nombre maximum de signes simples les composant c'est-à-dire que le code n° 1 en eût exigé 28; le code n° 11 14 et les autres codes 3, 4 et 5 fils y compris les codes III et V quoique n'exigeant que deux signes simples au maximum c'est-à-dire un nombre de signes inférieur au nombre de fils puisque ces deux codes eussent exigé l'un 4 fils et l'autre 5.

En outre, tous les codes étaient insuffisants puisque aucun d'eux ne donnait les 36 ou 38 combinaisons ou signes simples nécessaires à la représentation des 25 ou 26 lettres de l'alphabet, plus les 10 chiffres.

Ce n'est qu'avec 6 fils qu'on pouvait former toutes les combinaisons voulues, mais dans ce cas il y avait exagération du nombre des fils et du nombre des combinaisons, ce qui était un défaut grave relativement aux fils.

De là leur insuccès et leur abandon jusqu'au jour où M. Mimault voulant se servir du code n° 6 motiva leur exhumation au cours de son procès avec M. Baudot.

Mais aucun de ces codes n'eût encore été avantageusement utilisable si pendant la période de 25 à 30 années qui s'écoula entre les tentatives de Whitehouse, Davy, Highton et Wheatstone et celle de Mimault, deux inventions capitales n'eussent été faites : l'une par M. Hughes créant le type des appareils imprimeurs synchroniques avec *impression au vol* complétée d'un système d'*inversion* s'opérant également *au vol* et doublant la valeur de chaque signal à la seule condition d'utiliser deux de ces signaux à la double inversion des lettres et chiffres, l'autre par M. Meyer créant les appareils multiples basés sur la *division du temps* à l'aide d'un organe spécial appelé *distributeur*.

Mais après les inventions de Hughes produisant, grâce au synchronisme, la conversion des fils en fractions de temps ou *moments* et le doublement des caractères à l'aide de l'*inversion*, puis celle de Meyer créant le distributeur et celle de Baudot créant l'*emmagasinement* des signaux tous les codes de signaux purent enfin se transmettre à l'aide d'un seul fil.

La différence entre chaque code ne fut d'abord envisagée qu'au point de vue du *temps* exigé pour cette transmission car ce n'est que quelques années plus tard que M. Munier forma les codes n° 3 et 5 où les signes simples composant un signal complexe furent réduits à deux, ce qui introduisit un élément nouveau dans la transmission des signaux complexes, élément qui offre les avantages que nous avons signalés dans notre chapitre relatif à la *durée de propagation des courants, son action sur le rendement* (p. 20).

Si les différents codes ne furent d'abord envisagés qu'au point de vue du *temps* c'est que le temps est un élément d'une importance considérable en télégraphie.

C'est en effet pour *gagner du temps* que furent inventés tant de systèmes de télégraphes sans grande préoccupation pour le code, qui était généralement le code Morse ou le code Hughes.

Ce n'est que lorsque l'attention fut de nouveau attirée sur les codes de signaux complexes formés de signes simples par suite de leur *transmission à l'aide d'un seul conducteur* et par leur *traduction en un caractère d'imprimerie* que ces codes furent définitivement considérés comme facteurs essentiels du temps dans la réalisation des appareils télégraphiques rapides.

Il s'ensuit que la comparaison entre plusieurs codes de signaux porte d'abord sur le temps et que si deux codes peuvent être transmis dans le même temps la supériorité de l'un sur l'autre ne doit être envisagée ensuite qu'au point de vue d'un autre élément également important qui est *le nombre des signes simples composant un signal*, nombre que, comme pour le temps, il y a avantage à réduire à ses extrêmes limites en raison des difficultés que présente la ligne à la transmission des signes, difficultés inhérentes à la *propagation du courant* sur le conducteur et à la *décharge* de celui-ci, c'est-à-dire son retour à l'état neutre, cet état étant considéré comme le plus favorable à la transmission d'un nouveau signe.

D'où nous pouvons conclure par la thèse générale suivante :

En réduisant le temps nécessaire à un signal on augmente le rendement. En réduisant le nombre des signes on augmente la régularité et la sécurité du rendement.

Quel est le code qui répond le plus exactement à la thése générale que nous venons de formuler ?

Un simple examen nous fait voir qu'aucun des neuf codes n'y répond complètement au double point de vue du *temps* et du *nombre des signes* simples ou émissions de courant.

En effet, au point de vue du temps le code n° 4 apparaît immédiatement comme le plus avantageux puisqu'il n'est formé que de trois fils ou *moments* mais le nombre des signes

simples composant un signal va jusqu'à 3 lorsque avec les codes I et II chaque signal n'est formé que d'un signe simple.

Les codes I et II sont évidemment les plus avantageux au point de vue du *nombre des signes* mais ils comportent 28 et 14 fils ou moments, ce qui les relègue au dernier rang au point de vue *du temps*.

Pour établir une comparaison exacte entre chacun des codes, nous devons observer d'abord que le temps pris pour la transmission d'une lettre avec les signaux des codes I, II, VIII et IX n'est pas toujours le même et ne peut être évalué qu'en se basant sur une moyenne alors que pour la transmission d'une lettre avec les codes III, IV, V, VI et VII le temps pris est toujours le même et peut être évalué d'une manière précise.

En effet, avec le code n° 1, il y a 28 moments pendant chacun desquels une lettre pourrait être imprimée, mais les lettres formant les mots se présentent dans un ordre tel que la moyenne est d'environ une lettre et demie par tour de roue des types (¹), ce qui donne une perte moyenne de 18 moments environ par lettre à imprimer.

Cette perte de temps est réduite à 10 avec le code n° II.

Dans cette perte de temps est compris le signal qui sépare chaque mot.

Avec les codes VIII et IX les pertes de temps sont basées sur la différenciation des éléments composant un signal, car chaque signal étant formé par des répétitions de ces éléments il est nécessaire de les séparer nettement les uns des autres par un intervalle.

Il en est de même pour les signaux simples et complexes qu'il faut séparer entre eux par un espace double de celui qui sépare les éléments du signal puis enfin les mots qu'il faut séparer entre eux par un espace également double de celui qui sépare les signaux simples et complexes formant un mot.

Ces séparations sont nécessaires pour assurer la lisibilité des signaux et des mots et elles entraînent des pertes de temps relativement considérables.

Pour les signaux des codes III, IV, V, VI et VII il n'en est pas de même car le *moment* qui correspond à un élément distinct du signal peut suivre ou précéder sans aucune interruption le moment voisin, ce qui supprime toute perte de temps entre les signes simples composant un signal complexe; mais il y a lieu de tenir compte dans la transmission de ces codes : 1° du signal complet qui sépare chaque mot; 2° d'un signal spécial appelé *correcteur* et dont nous ferons connaître le rôle en décrivant le *distributeur*.

En tenant compte de toutes ces considérations et en prenant comme *unité de temps* soit la durée de l'émission la plus brève, soit l'intervalle le plus bref en ce qui concerne les codes VIII et IX soit le temps séparant deux *moments* consécutifs en ce qui concerne les autres codes on trouve que le mot moyen exige en unités de temps :

Avec les signaux du code		I.	112 unités (²)
»	»	II	56 »
»	»	III, VI, VII.	31 »
»	»	IV	19 »
»	»	V	25 »
»	»	VIII	48 »
»	»	IX	40 »

De ces chiffres il résulte que le code le plus avantageux au point de vue du rendement

(¹) Cette moyenne prise sur 200 mots nous a donné 1 lettre 52

(²) Ces 112 unités représentant les 4 tours que le distributeur et la roue des types d'un appareil doivent faire pour imprimer le mot moyen qui est de 5 lettres plus l'intervalle ce qui fait 6 signaux soit 1 1/2 par tour.

est le code IV puisqu'il transmet le mot moyen en 19 unités de temps, ce qui est le plus petit nombre entre tous les codes.

Inversement nous pouvons dire que si en un *temps donné* le code IV produit, par exemple, 1000 mots :

Le code	V	avec	25 unités	produira	760 mots
Les codes	III, VI, VII,	»	31	»	601
»	IX	»	40	»	458
»	VIII	»	48	»	396
»	II	»	56	»	339
»	I	»	112	»	164

Dans le classement qui précède, il n'est pas tenu compte du nombre des émissions et nous savons que ce nombre a une importance qui tient à ce fait que le nombre des émissions de courant qui peuvent être écoulées sur un conducteur n'est pas illimité.

Ce nombre étant au contraire limité pour les raisons que nous avons signalées précédemment, il s'ensuit que tel code qui, pour le même travail utiliserait un nombre d'émissions sensiblement inférieur à tel autre code pourrait être considéré comme le plus avantageux à la condition de lui être égal ou sensiblement égal au point de vue du temps. Nous voulons dire qu'un code auquel on pourrait donner, par exemple, la cote maximum 20 au point de vue du temps et la cote 10 au point de vue du nombre des émissions ne vaudrait pas un code auquel on pourrait donner soit la même cote 20 soit les cotes 17, 18 ou 19 au point de vue du temps avec la cote 16, 17 ou 18 au point de vue du nombre des émissions.

Ceci dit nous allons, avant de procéder au classement définitif des codes au double point de vue du temps et des émissions de courant, établir leur classement au point de vue du nombre des émissions exigées par chacun d'eux pour le *mot moyen* qui est de cinq lettres, plus l'intervalle qui sépare les mots, soit 6 signaux sauf pour les codes VIII et IX où l'intervalle entre les mots ne s'obtient pas par l'envoi d'un signal mais au contraire par une interruption, ce qui fait que le nombre des signaux par mot avec ces codes est égal au nombre des lettres.

Pour les codes I et II nous savons que le nombre des émissions est de *une* par signal ou lettre.

Pour les autres codes le nombre des émissions par mot moyen est égal au nombre des signaux multipliés par la moyenne des émissions par signal.

Nous considérons cette moyenne comme étant de 1,5 émission pour les codes III et V, car dans ces deux codes le maximum est 2 et le minimum 1 ; de 2,5 pour le code IV où le maximum est 3 et le minimum 1 ; de 4,5 pour le code VI où le maximum est 5 et le minimum 1. Pour le code VII il n'y a pas de moyenne puisque chaque signal est régulièrement formé de 5 émissions positives et négatives ; dans le code VIII, nous prenons une moyenne de 3,6 (longues et brèves) ainsi que pour le code IX où le maximum est 4 et le minimum 1.

Nous formons ainsi le tableau ci-dessous relatif au nombre d'émissions.

Le code	I	exige par *mot moyen*	6 émissions avec	112	unités de temps.
»	II	»	6 —	56	»
»	III	»	9 (6 × 1,5)	31	»
»	IV	»	15 (6 × 2,5)	19	»
»	V	»	9 (6 × 1,5)	25	»
»	VI	»	27 (6 × 4,5)	31	»
»	VII	»	30 (6 × 5)	31	»
»	VIII	»	18 (5 × 3,6)	48	»
»	IX	»	18 (5 × 3,6)	42	»

Par l'examen de ce tableau on se rend facilement compte, que si les codes I et II sont les plus avantageux au point de vue du nombre des émissions, ils offrent en revanche un tel désavantage au point de vue des unités de temps que le rang que nous devons leur assigner dans le classement définitif des codes est fatalement le dernier en raison du temps absorbé pour les 6 émissions qui est hors de proportion avec le nombre de ces émissions, ce qui fait concevoir que toute augmentation dans le nombre des émissions en vue de réduire les unités de temps constituerait un progrès, et que ce progrès serait d'autant plus important que le nombre des émissions et le nombre des unités de temps seraient plus réduits.

Ce progrès a été réalisé par les alphabets de *signaux complexes* formés de *signes simples* se traduisant par un *effet simple.* En effet, avant l'utilisation de ces alphabets, deux codes étaient en présence : 1° le code VIII (Morse) qui, dans notre tableau est représenté par une moyenne de 18 émissions (longues et brèves) et 48 unités de temps ; 2° le code I (Hughes) qui est représenté par 6 émissions et 112 unités de temps.

Avec ces deux codes le *rendement pratique* d'un fil n'était pas en harmonie avec le *rendement théorique* puisque le rendement du Hughes qui, théoriquement était inférieur à celui du Morse était au contraire plus élevé pratiquement ; mais cela était dû aux dispositions mécaniques des appareils et non aux codes car s'il en eût été autrement M. Wheatstone n'aurait pu, par une disposition spéciale de son appareil, obtenir avec le code VIII un rendement supérieur à celui du code I. *Le code le plus avantageux doit fatalement donner le rendement le plus élevé à la seule condition d'être desservi par un appareil approprié à cet effet.*

En poursuivant notre raisonnement à l'égard des autres codes, nous trouverons que le code III avec 9 émissions et 31 unités de temps se rapproche davantage du but à atteindre qui est la réduction simultanée du nombre des émissions et des unités de temps et se classe avant les deux premiers.

Le code IV qui n'exige que 16 unités de temps doit être classé avant le code III malgré les 15 émissions dont il nécessite l'envoi, mais à la condition toutefois que la ligne puisse écouler les émissions pendant les unités de temps.

Le code V avec 9 émissions et 25 unités de temps est plus avantageux que le code III, mais, comparativement au code IV, il perd en unités de temps environ l'équivalent de ce qu'il gagne en émissions ; nous le classerons en conséquence après le code IV en raison de l'importance attribuée à la réduction des unités de temps.

Le code VI avec 27 émissions et 31 unités de temps ainsi que le code VII avec 30 émissions et 31 unités sont évidemment moins avantageux que les codes III, IV et V puisqu'ils ont plus d'émissions sans avoir moins d'unités de temps.

Les codes VIII et IX se classent après les codes VI et VII autant par leur nombre d'émissions que par leurs unités de temps.

En conséquence, notre classement définitif des codes au double point de vue du nombre des émissions et des unités de temps est le suivant :

1er.	code	VI	(Davy).
2e.	»	V	(Munier).
3e.	»	III	
4e.	»	VI et VII	(Whitehouse, Mimault, Baudot).
5e.	»	IX	(Thomson).
6e.	»	VIII	(Morse).
7e.	»	II	(Olsen).
8e.	»	I	(Hughes).

D'après le classement qui précède, le code IV est donc celui qui permet d'obtenir le rendement le plus élevé, puis viennent les codes III, V, VII, etc., en admettant bien entendu que le nombre des émissions de courant pouvant être faites ne soit pas illimité car si ce nombre était illimité peu importerait le code employé, mais en ce qui concerne la ligne seulement, car on pourrait encore faire un choix portant sur le code qui permettrait l'emploi des appareils les plus simples et exigerait le moins de travail de l'employé pour un travail déterminé.

Mais la limitation existe et il s'ensuit qu'il convient, avant de décider que tel ou tel code est plus avantageux que tel ou tel autre, d'examiner dans quelles conditions leurs éléments de signaux peuvent se produire à l'extrémité d'une ligne.

(*A suivre.*)

MUNIER.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

ACADÉMIE DES SCIENCES

Séance du 11 juin 1900.

Sur le rayonnement de l'uranium, par **Henri Becquerel**. *Comptes rendus*, t. CXXX, p. 1583-1585.

On sait que le rayonnement des corps radioactifs comprend deux groupes distincts : l'un, qui consiste en rayons cathodiques, est déviable par un champ magnétique et par un champ électrique ; l'autre, dont la nature est inconnue jusqu'ici, n'est pas déviable et paraît comprendre des rayons ayant des puissances diverses de pénération au travers des métaux et des corps opaques pour la lumière.

Ces deux groupes de rayons ont été observés avec les corps très actifs découverts par M. et Mme Curie ; le radium émet à la fois des rayons déviables et des rayons non déviables ; le polonium n'émet que des rayons non déviables ; l'actinium de M. Debierne émet des rayons déviables.

Depuis quelque temps, M. H. Becquerel s'est poposé de rechercher si l'uranium, le premier des corps dont on ait observé la radio-activité [1], émettait des rayons déviables. Il est parvenu à mettre ces rayons en évidence [2].

Des observations communiquées par M. Debierne [1] et qui étaient antérieures aux récentes expériences de M. v. Lengyel [2], conduisent à

Néanmoins l'auteur a employé la disposition dont il avait fait usage pour mettre en évidence la déviation électrostatique du rayonnement du radium. On projetait sur une plaque photographique enveloppée de papier noir, l'ombre d'un écran plan normal à la plaque et disposé dans un champ magnétique parallèlement à ce champ ; la source radiante était de l'uranium en poudre rassemblé dans une rainure en plomb parallèle à l'écran et située au-dessous. Le champ était celui d'un aimant permanent ; la pose durait plusieurs jours et a varié selon la distance de la source à l'écran.

Dans tous les cas, avec un champ d'environ 1 500 unités C. G. S., on a obtenu une ombre de l'écran montrant qu'une partie du rayonnement du radium qui traverse le papier noir est déviée dans le même sens que des rayons cathodiques. Des mesures préliminaires, que M. Becquerel se propose de reprendre avec plus de précision, ont montré que le produit $H\rho$ du champ magnétique par le rayon de courbure des trajectoires était du même ordre de grandeur que pour ceux des rayons du radium qui traversent le papier noir, et une lame d'aluminium de 0,1 mm d'épaisseur. Près du bord dévié de l'ombre, les radiations correspondraient à une valeur du produit $H\rho$ supérieure à 2 000 ; cette valeur est la même pour des rayons très pénétrants émis par le radium.

[1] H. BECQUEREL. *Comptes rendus*, t. CXXII, p. 421 et 501, février et mars 1896. La première de ces notes a été reproduite dans *L'Éclairage Électrique* du 7 mars 1896, t. VI, p. 472.

[2] La très faible intensité du rayonnement de l'uranium et, par suite, la longueur du temps de pose nécessaire pour produire une impression photographique suffisante, rendent les expériences plus difficiles à réaliser qu'avec le radium.

[1] Voir *Comptes rendus*, t. CXXX, p. 906, 2 avril 1900. — *Écl. Élect.*, t. XXIII, p. 80, 14 avril 1900.

[2] *Berichte der Deutschen chemische Gesellschaft*, n° 8, p. 1237, mai 1900.

rechercher si les rayons déviables de l'uranium sont dûs à ce métal seul ou à une petite quantité d'une substance très active mélangée à l'uranium. D'après M. Debierne, si l'on prend du chlorure d'uranium du commerce que l'on dissout dans l'eau, si l'on ajoute un peu de chlorure de baryum, puis qu'on précipite le baryum à l'état de sulfate, on obtient un sulfate de baryum actif.

M. Becquerel a répété cette expérience avec quelques grammes de matière du commerce : le chlorure d'uranium, ainsi traité deux fois de suite puis desséché, est resté actif. L'activité, mesurée par la vitesse de la décharge d'un électroscope chargé à une vingtaine de volts, était réduite à 0,67 environ de l'activité du produit non traité. Le sulfate de baryum résultant de la première précipitation avait, dans cette expérience, une activité de 0,27 environ en prenant pour unité l'activité du chlorure d'uranium avant le traitement.

Si l'on traite à la fois une quantité un peu plus grande de chlorure d'uranium, une centaine de grammes par exemple, en y ajoutant une très petite quantité de chlorure de baryum, le précipité est plus riche en matière active entraînée ; la radio-activité du sulfate de baryum peut alors dépasser très notablement celle du chlorure d'uranium du commerce. Ces corps produisent, sur une plaque photographique enveloppée de papier noir, une impression plus forte que l'uranium.

Ces expériences montrent d'une part que l'uranium est mélangé à un produit très actif qui pourrait être l'actinium et que d'autre part l'uranium purifié est encore actif. Une nouvelle purification du sel uranique ne paraît pas avoir diminué son activité d'une manière appréciable.

D'après M. Becquerel ces résultats sont favorables à l'hypothèse de l'existence d'une radiation propre à l'uranium. A cette occasion, il rapporte le résultat de l'examen de deux échantillons de nitrate d'uranium que M. Lecoq de Boisbaudran lui a remis il y a déjà longtemps. Ces deux échantillons étaient les termes extrêmes d'un fractionnement par cristallisation. Les premiers cristaux et les derniers se sont comportés comme identiques soit pour rendre l'air conducteur, soit pour impressionner une plaque photographique.

Sur la distribution électrique le long d'un résonateur de Hertz en activité, par **Albert Turpain**. *Comptes rendus*, t. CXXX, p. 1609-1612.

Dans une communication précédente (1) l'auteur indiquait une méthode d'observation de l'état électrique le long d'un résonateur filiforme circulaire de Hertz, méthode qui, rappelons-le, consiste à enfermer le résonateur dans un tube de verre à l'intérieur duquel l'air est convenablement raréfié. Il a appliqué cette méthode à l'étude d'un résonateur à deux spires et d'un résonateur à deux micromètres. Les résultats de ces expériences (2) et de celles re-

(1) *Écl. Élect.*, t. XXIII, p. 428, 16 juin 1900.

(2) Résonateur a deux spires. — Ce résonateur est constitué par un fil d'aluminium disposé suivant l'axe d'un tube de verre qui est recourbé de façon à former deux spires circulaires. Les deux extrémités du fil d'aluminium aboutissent aux pôles d'un micromètre placé à l'extérieur du tube de verre. Le résonateur est disposé de telle sorte que le plan des spires est perpendiculaire à la direction des fils qui concentrent le champ. Le rayon du résonateur qui passe par le micromètre est normal au plan des fils.

On constate que la luminescence qui se produit autour du fil d'aluminium est d'autant plus vive que le micromètre est plus ouvert. Elle intéresse de part et d'autre du micromètre des arcs de 180° environ. Le reste du résonateur est obscur. La luminescence cesse dès qu'on ferme le micromètre.

Résonateur a deux micromètres. — Ce résonateur est formé par deux tiges métalliques semi-circulaires placées à l'intérieur de tubes de verre en forme de demi-circonférences. L'air que contient les tubes a été convenablement raréfié. Chaque tige porte à l'une de ses extrémités une vis micrométrique qui vient buter contre l'extrémité libre de l'autre tige. Le résonateur est ainsi muni de deux micromètres diamétralement opposés. La course des vis micrométriques est de longueur telle qu'elle permet de produire une coupure dans la région occupée par chaque micromètre. Le plan du résonateur est perpendiculaire à la direction des fils de concentration du champ et le diamètre qui passe par les micromètres est normal au plan des fils. On désignera par m celui des deux micromètres situé au-dessus de ce plan et par μ le second micromètre.

On constate les phénomènes suivants :

1° m et μ *sont fermés*. — On n'observe aucune luminescence.

2° m *est peu ouvert et* μ *est fermé*. — On aperçoit une étincelle au micromètre m accompagnée d'une faible luminescence des parties des arcs voisines de m.

3° m *est très ouvert et* μ *est fermé*. — L'étincelle n'éclate plus en m qui est devenu une coupure. La luminescence est très vive et intéresse une partie notable (130° environ) des arcs aboutissant en m.

4° m *est très ouvert et l'on ouvre graduellement* μ. —

latées dans la communication précédente peuvent s'interpréter en admettant qu'un résonateur en activité est le siège d'un courant électrique oscillatoire cheminant alternativement d'une des extrémités du résonateur vers l'autre.

Si l'on désigne les extrémités de la coupure formée par le micromètre par A et B, le courant chemine de A vers B pendant une demi-période et de B vers A pendant la demi-période suivante.

Les valeurs successives de la densité électrique en A et B sont les suivantes :

Temps.	Densité en A.	Densité en B.
0	$+\sigma$	$-\sigma$
$\frac{T}{4}$	0	0
$\frac{T}{2}$	$-\sigma$	$+\sigma$
$\frac{3T}{4}$	0	0
T	$+\sigma$	$-\sigma$

Au point M, également distant de A et de B, la densité électrique reste constamment nulle.

Si la coupure est assez grande pour qu'aucune étincelle ne puisse la traverser, la densité électrique acquiert en A et en B, à la fin de chaque demi-période, la plus grande valeur possible (valeur absolue). La luminescence est la plus vive.

Si l'on diminue la grandeur de la coupure de telle sorte qu'une étincelle éclate entre A et B, la valeur maximum que prend la densité électrique en A et en B est $\sigma' < \sigma$ et la luminescence devient moins vive.

Si l'on ferme complètement la coupure, aucun courant ne circule plus dans le circuit fermé que présente le résonateur. La densité électrique est nulle en tout point de ce circuit à chaque instant. Aucune luminescence ne se manifeste.

La luminescence diminue lorsqu'on fait croître l'ouverture du micromètre μ. Elle cesse dès qu'aucune étincelle n'éclate plus entre les pôles du micromètre μ.

5° *m et μ sont peu ouverts.* — Si les deux micromètres sont ouverts de manière que des étincelles éclatent à l'un et à l'autre, la luminescence se manifeste tantôt le long de portions d'arcs avoisinant *m*, tantôt le long de portions d'arcs avoisinant μ. La luminescence qui accompagne l'une des deux étincelles indique celui des deux micromètres qui fonctionne comme coupure.

6° *m* et μ sont très ouverts. Les deux micromètres forment alors deux coupures. On n'observe aucune luminescence.

Si une coupure AB existe dans le résonateur et si l'on ouvre progressivement un micromètre placé en M, l'étincelle qui se manifeste en M et qu'une luminescence voisine n'accompagne pas doit être attribuée au passage du courant cheminant alternativement de A vers B et de B vers A. On conçoit que la présence du micromètre ouvert en M abaisse la valeur maximum qui limite la variation de densité en A et en B. La luminescence au voisinage de A et de B doit donc diminuer par l'ouverture d'un micromètre situé en M.

Tant qu'une étincelle peut jaillir en M, le courant peut circuler entre A et B ; la luminescence s'observe au voisinage de A et de B et présente une intensité plus ou moins grande. Dès que l'ouverture du micromètre en M est telle qu'on n'observe plus d'étincelle, le courant ne peut s'établir entre A et B. La présence de la seconde coupure M doit faire cesser tout phénomène de luminescence.

Si la coupure AB et l'ouverture du micromètre en M sont égales et susceptibles l'une et l'autre de permettre la production d'étincelles, il peut arriver que l'étincelle éprouve une plus grande difficulté à se produire à l'une des interruptions qu'à l'autre ; cela peut avoir lieu tantôt à l'une, tantôt à l'autre des interruptions. La plus résistante des interruptions jouera le rôle de coupure. Les portions des conducteurs qui y aboutissent seront entourées de luminescence, tandis que la seconde interruption (la moins résistante) sera seulement le siège d'une étincelle due au courant circulant dans le résonateur. Ainsi se marque la différence qui existe entre l'étincelle qui éclate au micromètre d'un résonateur complet et l'étincelle qui éclate au micromètre d'un résonateur à coupure.

En résumé, ajoute M. Turpain, si l'on conçoit le mouvement électrique hypothétique le long d'un résonateur filiforme en activité à la manière dont se produit le mouvement de l'air dans un tuyau sonore, le résonateur peut être comparé à un tuyau sonore fermé à ses deux extrémités et présentant dans sa longueur deux concamérations. Le résonateur doit être considéré comme présentant un ventre de vibration au milieu de sa longueur et deux nœuds de signes contraires à ses deux extrémités.

Le Gérant : C. NAUD.

Tome XXIII. Samedi 30 Juin 1900. 7e Année. — N° 26

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

L'EXPOSITION UNIVERSELLE

CONCOURS DE TOURISME AUTOMOBILE

Ce concours organisé sous les auspices de l'Automobile-Club et de l'Administration de l'Exposition universelle a eu lieu du lundi 14 au samedi 19 mai.

Il comprenait donc six jours d'épreuves pendant chacun desquels les concurrents durent parcourir 150 kilomètres, sauf toutefois le jeudi 17 mai consacré à des épreuves de consommation sur 15 tours de piste formant une longueur totale de 34,35 km.

Il était imposé aux automobiles de s'astreindre aux règlements de police, autrement dit, les épreuves n'étaient pas de ces luttes de vitesse dénuées de sens, mais bien des concours de résistance, de consommation et de bon agencement technique.

Nous avons eu la grande satisfaction de voir *déclasser 3 voitures dont les vitesses* (40 à 50 km : h et plus) *avaient été jugées*, avec beaucoup de raison, comme ridiculement exagérées pour le tourisme par la commission de classement.

Les concurrents présentaient presque tous des voitures à pétrole, trois voitures à vapeur faisaient exception, nous ne nous étendrons pas dans ce journal spécial d'électricité sur les descriptions des moteurs, nous ne décrirons que certains dispositifs pouvant intéresser autant l'automobilisme électrique que l'automobilisme par moteur thermique.

Toutefois avant de commencer ces descriptions, nous indiquerons que les moyennes de consommation en essence sur les longs parcours du concours ont été par tonne-kilomètre de 0,08 à 0,160 litre d'essence rectifiée pour automobile (1) ; l'eau de circulation dépensée

(1) Les différences s'expliquent quand on songe que jusqu'ici l'empirisme a présidé à la détermination des moteurs à mélange tonnant. Nous admettrons la moyenne 0,120 lit. par t-km.

pour refroidissement à travers les radiateurs ne dépassait pas 4 à 6 litres pour 150 km de parcours, enfin la consommation d'huile à graisser était inférieure à 250 gr pour le même trajet.

Il est nécessaire de rapprocher ces chiffres de consommation de ceux d'une voiture électrique effectuant des parcours analogues, le rapport sur le concours des « Poids lourds » de octobre 1898 nous indique (p. 118) :

Watts-heure par tonne-kilomètre du poids total.	aux bornes du moteur.	85 w-h (1)
	fournis aux accumulateurs	115 »

Le litre d'essence revenant à 0,50 fr et l'énergie électrique étant estimée à 0,30 fr le kilowatt-heure, on arrive à la conclusion suivante :

Dépense d'énergie par tonne kilomètre. . .	voiture à pétrole.	0,06 fr.
	voiture électrique.	0,034 »

Malheureusement si on fait entrer en ligne de compte l'entretien comprenant pour les électromobiles le maintien à l'état de neuf des *accumulateurs*, toutes les conclusions sont renversées ; de plus, les voitures à accumulateurs ne peuvent fournir d'aussi longs parcours que ceux du concours sans se recharger, ces voitures sont condamnées à trouver leur emploi dans un rayon limité des centres de chargement ; en un mot, comme il a déjà été remarqué, chaque système d'automobiles possède une région d'utilisation nettement définie :

(α) Aux électromobiles : plus spécialement le service sédentaire des voitures légères dans la ville ou dans la petite banlieue de cette ville, surtout dans les villes où la circulation force à marquer le pas ;

(β) Aux voitures à pétrole : plus spécialement le service de livraison des banlieues de ville et le tourisme ;

(γ) Aux voitures à vapeur : plus spécialement le gros camionnage ou le service d'omnibus dans les pays de montagne.

Nous devons reconnaître chez les constructeurs une plus grande préoccupation de la mécanique. L'art de l'automobilisme ne consiste plus seulement maintenant à placer un moteur plus ou moins bien étudié sur un assemblage plus ou moins rigide que supportent quatre roues de diamètre et de forme variables suivant les goûts du moment ; les études rationnelles commencent à acquérir droit de cité en cette industrie où le snobisme le *plus écrasant* avait régné jusqu'ici en maître incontesté.

En particulier les changements de vitesse si critiquables, si barbares même, dans les modèles d'années précédentes ont été étudiés soigneusement ; la plupart des constructeurs emploient, à cet effet, un embrayage par friction progressif à volonté, les changements de vitesses peuvent être faits alors en machine désembrayée, les démarrages sont effectués à embrayage lâche, on évite ainsi dans l'un et l'autre cas les grincements si désagréables aux voyageurs et si préjudiciables aux dents d'engrenage du train balladeur.

Parmi les innovations qui nous ont paru les plus originales et les plus intéressantes, nous allons décrire le dispositif à l'aide duquel la maison Brouhot, de Vierzon, s'affranchit de tous les ennuis qu'entraîne, avec son emploi, le différentiel, dispositif aussi ingénieux en théorie que délicat en pratique.

Pour atteindre ce but la maison Brouhot a employé un système d'encliquetage présentant

---

(1) En traction de tramway sur voie robuste, bien entretenue, la dépense moyenne varie suivant le profil de 30 à 50 wh aux bornes des moteurs.

toute sécurité. Ce système d'encliquetage se compose d'une couronne dentée intérieurement, fixée sur le moyeu de la roue et d'un plateau en place sur l'essieu ; ce plateau porte un axe sur lequel est fixé un cliquet à trois branches : l'une des branches est engagée dans un logement pratiqué sur l'essieu. Quand l'essieu tourne, le cliquet pivote autour de son axe et l'une des deux autres branches, suivant que l'on marche en avant ou en arrière, vient s'engager dans l'un des vides laissés entre chaque dent de la couronne et entraîne la roue dans un mouvement de rotation.

Dans un virage, la roue extérieure au mouvement prend une vitesse plus grande ; comme la roue est folle sur l'essieu, le cliquet s'efface jusqu'au moment où, le virage fini, la roue extérieure reprend la vitesse de l'autre roue ; le cliquet vient alors de nouveau en contact avec une dent du plateau [1].

La figure ci-jointe fera comprendre le détail du fonctionnement

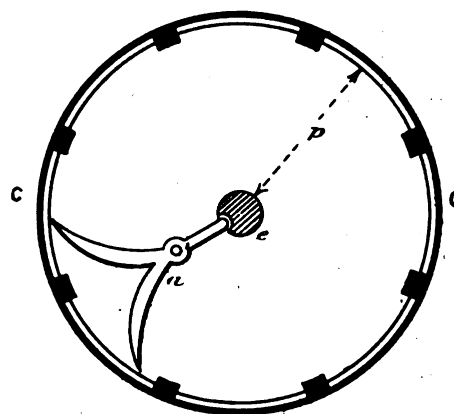


Fig. 1. — Encliquetage Brouhot pour changement de marche.

C, couronne fixée au moyeu; *a*, rochet; *e*, essieu; *p*, plateau monté fou sur l'essieu.

Sur la demande de l'auteur de l'article il a été procédé à l'essai du démarrage en rampe, la *voiture étant braquée*, l'essai a été satisfaisant. La raison de cet essai était la suivante : tandis qu'avec un différentiel, c'est la roue extérieure au mouvement, c'est-à-dire dont le parcours est le plus grand, qui est motrice, avec la disposition Brouhot au contraire, c'est l'inverse qui a eu lieu, puisque dès qu'une roue tend à aller plus vite que l'essieu, elle devient folle par rapport à lui ; cette circonstance m'avait paru, dès l'abord, très critiquable.

Il est incontestable qu'autant le différentiel est délicat, autant ce dispositif peut être robuste, de plus il ne nécessite aucune surveillance, aucun graissage.

Nous avons tenu à décrire cette disposition, car elle nous paraît propre à être adoptée pour les *électromobiles*. Le changement de vitesse étant de plus *continu*, il nous semble qu'il serait préférable de simplifier le combinateur en ne le prévoyant qu'avec trois crans seulement dans la marche avant et complétant son jeu de vitesses par le changement *progressif mécanique* de vitesse. On éviterait ainsi beaucoup de complications dans le montage des moteurs électriques.

Nous devons signaler aussi une innovation faite sur une voiture de carrosserie Felber, elle consiste à supprimer la béquille en empêchant *automatiquement* la marche en sens inverse de celle dans laquelle le conducteur veut aller. Le procédé consiste à disposer dans un engrenage placé sur l'arbre du moteur un encliquetage par rouleaux du genre de celui adapté aux pédaliers de bicyclettes pour freiner à l'aide de la rotation inverse des pédales. Ce dispositif également simple et robuste est à recommander.

Ce concours sera renouvelé à la fin de juin entre les maisons non récompensées à la première épreuve.

E. VIGNERON

---

[1] Les deux voitures Brouhot du concours ont été d'ailleurs chacune médaillées; c'était justice.

LES TAPIS ÉLÉVATEURS A MOUVEMENT CONTINU (1)

Tapis système Jules Le Blanc. — La maison J. Le Blanc a construit cinq rampes mobiles pour l'Exposition. Elles sont situées dans le Palais du Champ-de-Mars, côté de l'avenue de Suffren. Quatre de ces chemins élévateurs montent à 7 m (nos 6, 8, 10 et 12). Le chemin n° 4 dans la section Suisse de l'ancienne Galerie des Machines donne accès au premier étage et cette galerie a 8 m de hauteur.

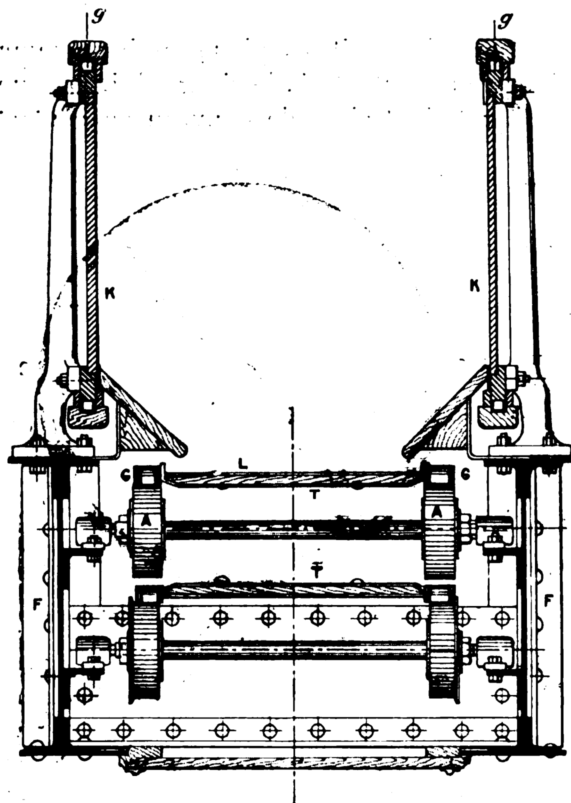


Fig. 1. — Section transversale des tapis élévateurs, système J. Le Blanc.

Ces rampes diffèrent un peu de celles que nous avons décrites. Le constructeur s'est principalement attaché à obtenir des appareils à marche silencieuse, consommant peu d'énergie, tout en assurant aux voyageurs les conditions les plus agréables d'ascension. L'appareil est essentiellement mécanique et la menuiserie y est réduite au minimum.

La chaîne Galle en est le principal élément. Le tablier mobile est formé de deux chaînes Galle sans fin parallèles, G, G (fig. 1) et entretoisées par des traverses en fer et bois simples TT, le tout recouvert d'un tapis en linoléum L. Ces deux grandes chaînes Galle sont traînées par de grandes roues dentées à la partie supérieure, et elles sont maintenues tendues aux poulies de retour à la partie inférieure par de puissants ressorts en acier. Des petits galets en bois A, très rapprochés les uns des autres, portent les chaînes tout le long de leur parcours.

Quant aux mains-courantes, elles sont également constituées par des chaînes Galle coulissant dans des rainures *g*, *g*. Elles sont munies de maillons en bois profilé pour l'appui de la main. Les chaînes Galle *g* marchent à la même vitesse que les chaînes du tablier.

Les côtés de la rampe, entre les guides des chaînes inférieures et supérieures, sont fermés par des glaces de grandes dimensions K.

Tout le mécanisme est monté sur les deux limons F, F et forme avec eux un ensemble complet.

Un moteur électrique boulonné sur l'âme du limon de droite donne le mouvement aux roues d'entraînement au moyen d'une vis sans fin silencieuse. La marche se fait sans bruit et sans vibration. Malgré l'emploi de la vis sans fin la consommation d'énergie est faible; tous les organes sont d'un excellent rendement.

On peut s'en convaincre en consultant l'ampèremètre placé sur le tableau du rhéostat.

Enfin la sortie du chemin se fait naturellement et sans secousse.

L'appareil est élégant et simple et sa construction nous a semblé parfaitement soignée.

E. Nelson-Uhry

(1) Voir *L'Éclairage Électrique* du 12 mai, p. 197.

RÉSISTANCE ET SELF-INDUCTION D'UN FIL

DANS UNE DÉCHARGE OSCILLANTE

CRITÉRIUM DE LA DÉCHARGE OSCILLANTE D'UN CONDENSATEUR

I. Résistance et self-induction d'un fil dans une décharge oscillante.

Maxwell a montré par le calcul que quand le courant qui passe dans un fil a une intensité variable, la force électromotrice due à l'induction du fil sur lui-même est différente aux différents points d'une même section du fil, car elle est en général fonction de la distance à l'axe du fil aussi bien que du temps; et si nous considérons le fil cylindrique comme une masse solide dans laquelle les courants circulent librement en obéissant à la force électromotrice, l'intensité du courant n'est plus la même aux différentes distances de l'axe du cylindre, et les forces électromotrices elles-mêmes dépendent de la distribution du courant dans les couches cylindriques du fil.

Lord Rayleigh a, dans un article du *Philosophical Magazine* de mai 1886, considérablement développé la méthode de calcul de Maxwell, mais en ce qui concerne les courants alternatifs, il ne considère que ceux qui suivent une loi harmonique *avec amplitude constante*. Il restait donc une lacune relativement aux *courants périodiques amortis* (obtenus par exemple par la décharge oscillante d'un condensateur) et aux ondes de haute fréquence produites par un oscillateur de Hertz. Cette lacune a été comblée par M. Edwin-H. Barton (1) qui a étudié tout récemment ces deux derniers cas qui se rencontrent si fréquemment.

Nous nous proposons d'analyser brièvement le travail de M. Barton en indiquant surtout les conclusions auxquelles il arrive; mais avant de donner les formules finales qu'il obtient, nous croyons utile d'indiquer en quelques lignes la méthode de calcul que Maxwell emploie dans son célèbre Traité d'Electricité et Magnétisme et que Lord Rayleigh et M. Barton suivent pas à pas.

Considérons un fil conducteur que nous supposerons être un cylindre de rayon a; le potentiel vecteur H, la densité w du courant et la force électromotrice en un point de ce cylindre seront considérés comme des fonctions de deux variables seulement: le temps t et la distance r à l'axe du fil.

Il s'agit de chercher une relation entre le courant total C à travers la section du fil et la force électromotrice totale E qui agit autour du circuit en question.

Admettons que

$$H = S + T_0 + T_1 r^2 + T_2 r^4 + \dots\dots + T_n r^{2n} \qquad (1)$$

où $S, T_0, T_1, \dots, T_n$ sont des fonctions du temps. Déterminons la forme de ces fonctions.

On sait que le potentiel vecteur H satisfait à la relation,

$$\frac{\partial^2 H}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial H}{\partial r} = -4\pi w$$

il en résulte,

$$-\pi w = T_1 + 4T_2 r^2 + 9T_3 r^4 + \dots\dots + n^2 T_n r^{2n-2}.$$

(1) Edwin.-H. Barton, The Equivalent Resistance and Inductance of a Wire to an oscillatory Disharge. *Philosoph: Mag.*, vol. 47, p. 433, mai 1899.

La force électromotrice en un point quelconque du fil est ρw, en désignant par ρ la résistance spécifique de la substance par unité de volume. Cette force électromotrice a d'ailleurs pour valeur

$$\rho w = -\frac{\partial\psi}{\partial z} - \frac{\partial H}{\partial t}$$

où ψ désigne le potentiel électrostatique.

Il vient donc,

$$-\rho w = \frac{\partial\psi}{\partial z} + \frac{dS}{dt} + \frac{dT_0}{dt} + \frac{dT_1}{dt} r^2 + \ldots\ldots + \frac{dT_n}{dt} r^{2n}$$

En comparant les deux relations (2) et (3), on obtient,

$$T_1 = \frac{\pi}{\rho}\left(\frac{\partial\psi}{\partial z} + \frac{dS}{dt} + \frac{dT_0}{dt}\right)$$
$$T_2 = \frac{\pi}{\rho}\,\frac{1}{2^2}\,\frac{dT_1}{dt}$$
$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$
$$T_n = \frac{\pi}{\rho}\,\frac{1}{n^2}\,\frac{dT_{n-1}}{dt}.$$

On tire de là,

$$\frac{dS}{dt} = -\frac{\partial\psi}{\partial z} \tag{4}$$

et,

$$\left.\begin{array}{l} T_0 = T \\ T_1 = \frac{\pi}{\rho}\frac{dT}{dt} \\ \ldots\ldots\ldots\ldots \\ T_n = \frac{\pi^n}{\rho^n}\frac{1}{(n!)^2}\frac{d^nT}{dt^n} \end{array}\right\} \tag{5}$$

Pour avoir C, le courant total, intégrons w pour toute la section du fil,

$$C = \int_0^a 2\pi w r dr$$

d'où, en tenant compte de la relation (2)

$$C = -(T_1 a^2 + \ldots\ldots + n T_n a^{2n}) \tag{6}$$

Or H un point extérieur au fil n'est fonction que de C et ne dépend nullement de la façon dont ce courant est distribué dans le fil ; on peut donc admettre que la valeur de H *à la surface du fil* est AC, A étant une constante qui dépend de la forme générale du circuit. La formule (1) devient alors

(pour $r = a$)
$$AC = S + T_0 + T_1 a^2 + \ldots\ldots + T_n a^{2n}. \tag{7}$$

Posons maintenant

$$\frac{\pi a^2}{\rho} = \alpha$$

α étant ce qu'on appelle la *conductibilité* du fil.

Les relations (6) et (7) deviennent, en tenant compte de (5),

$$C = -\left(\alpha\frac{dT}{dt} + \frac{2\alpha^2}{1^2 2^2}\frac{d^2T}{dt^2} + \ldots\ldots + \frac{n\alpha^n}{(n!)^2}\frac{d^nT}{dt^n}\right); \tag{8}$$

$$AC - S = T + \alpha\frac{dT}{dt} + \frac{\alpha^2}{1^2 2^2}\frac{d^2T}{dt^2} + \ldots\ldots + \frac{\alpha^n}{(n!)^2}\frac{d^nT}{dt^n}. \tag{9}$$

Maxwell suppose continuellement $\mu = 1$. Lord Rayleigh introduit, au contraire, la perméabilité magnétique μ, et il obtient à la place des équations (8) et (9) de Maxwell les relations suivantes,

$$\mu C = -\left(\alpha\mu \frac{dT}{dt} + \frac{\alpha^2\mu^2}{1^2 2^2} \frac{d^2T}{dt^2} + \ldots\ldots + \frac{n\alpha^n\mu^n}{(n!)^2} \frac{d^nT}{dt^n}\right); \tag{8 bis}$$

$$AC - S = T + \alpha\mu \frac{dT}{dt} + \frac{\alpha^2\mu^2}{1^2 2^2} \frac{d^2T}{dt^2} + \ldots\ldots + \frac{\alpha^n\mu^n}{(n!)^2} \frac{d^nT}{dt^n}. \tag{9 bis}$$

Posons maintenant,

$$\Phi(x) = 1 + x + \frac{x^2}{1^2 2^2} + \ldots\ldots + \frac{x^n}{(n!)^2}; \tag{10}$$

Les relations (8 *bis*) et (9 *bis*) peuvent alors s'écrire,

$$\frac{dS}{dt} = A \frac{dC}{dt} + \Phi\left(\alpha\mu \frac{d}{dt}\right)\frac{dT}{dt}, \tag{11}$$

$$C = -\alpha\Phi'\left(\alpha\mu \frac{d}{dt}\right)\frac{dT}{dt}. \tag{12}$$

Courants périodiques non amortis. — Lord Rayleigh applique ces relations aux courants périodiques qui sont régis par une loi harmonique. Dans ce cas toutes nos fonctions sont proportionnelles à e^{ipt} et en éliminant $\frac{dT}{dt}$ entre les équations (11) et (12) on obtient,

$$\frac{dS}{dt}\frac{\alpha}{C} = Aip\alpha + \frac{\Phi(ip\alpha\mu)}{\Phi'(ip\alpha\mu)},$$

où (¹)

$$\frac{\Phi(ip\alpha\mu)}{\Phi'(ip\alpha\mu)} = 1 + \frac{1}{12}p^2\alpha^2\mu^2 - \frac{1}{180}p^4\alpha^4\mu^4 + \ldots\ldots + i\left\{\frac{1}{2}p\alpha\mu - \frac{1}{48}p^3\alpha^3\mu^3 + \frac{13}{8640}p^5\alpha^5\mu^5 - \ldots\ldots\right\}. \tag{16}$$

et en écrivant

$$E = R'C + ipL'C \tag{17}$$

on trouve finalement, en tenant compte de la relation (13) (¹),

$$R' = R\left[1 + \frac{1}{12}\frac{p^2l^2\mu^2}{R^2} - \frac{1}{180}\frac{p^4l^4\mu^4}{R^4} + \ldots\ldots\right], \tag{18}$$

et,

$$L' = l\left[A + \mu\left(\frac{1}{2} - \frac{1}{48}\frac{p^2l^2\mu^2}{R^2} + \frac{13}{8640}\frac{p^4l^4\mu^4}{R^4} - \ldots\right)\right], \tag{19}$$

(¹) En effet, si E désigne la force électromotrice due à d'autres causes que l'induction du circuit sur lui-même, et si R et l désignent la résistance et la longueur de ce circuit, on a

$$\frac{dS}{dt} = \frac{E}{l}; \quad \alpha = \frac{l}{R}; \tag{13}$$

donc

$$\frac{\alpha E}{lC} = \frac{E}{RC} = ip\alpha A + \frac{\Phi(ip\alpha\mu)}{\Phi'(ip\alpha\mu)}. \tag{14}$$

Maintenant, si nous considérons deux fonctions $\Phi(x)$ et $\Phi'(x)$ et si x est petit, nous avons,

$$\frac{\Phi(x)}{\Phi'(x)} = 1 + \frac{1}{2}x - \frac{1}{12}x^2 + \frac{1}{48}x^3 - \frac{1}{180}x^4 + \frac{13}{8640}x^5 - \ldots\ldots$$

et de la même manière,

$$\frac{\Phi(ip\alpha\mu)}{\Phi'(ip\alpha\mu)} = 1 + \frac{1}{12}p^2\alpha^2\mu^2 - \frac{1}{180}p^4\alpha^4\mu^4 + \ldots\ldots + i\left[\frac{1}{2}p\alpha\mu - \frac{1}{48}p^3\alpha^3\mu^3 + \frac{13}{8640}p^5\alpha^5\mu^5 + \ldots\right] \text{C.Q.F.D.}$$

R′ et L′ étant ce que Lord Rayleigh appelle *résistance effective* et *self-induction effective*.

On voit que ces quantités sont données en séries infinies. Mais si p est très gaand (courants de *haute fréquence*) ces quantités peuvent être exprimées en valeurs *finies*, et on obtient dans ce cas [1],

$$\left.\begin{aligned} R' &= R\sqrt{\frac{1}{2}p\alpha\mu} = \sqrt{\frac{1}{2}pl\mu R} \\ &\text{et} \\ L' &= l\left[A + \sqrt{\frac{\mu}{2p\alpha}}\right] = l\left[A + \sqrt{\frac{\mu R}{2pl}}\right]. \end{aligned}\right\} \tag{20}$$

COURANTS PÉRIODIQUES AMORTIS. — Appliquons maintenant les formules (11), (12) et (14) aux courants périodiques amortis suivant une loi logarithmique. Dans ce cas toutes les fonctions que nous avons considérées précédemment contiendront $e^{(i-k)pt}$ en facteur. M. Barton pose,

$$E = R''C + (i-k)pL''C \tag{21}$$

R″ et L″ désignant ce que M. Barton appelle *résistance équivalente* et *self-induction équivalente* d'un fil parcouru par des courants périodiques amortis.

Par un calcul en tous points analogue au précédent, on trouve pour R″ et L″ les valeurs suivantes, [2]

$$\frac{R''}{R} = 1 + \frac{1+k^2}{12}p^2\alpha^2\mu^2 + \frac{k(1+k^2)}{24}p^3\alpha^3\mu^3 - \frac{1-2k^2-3k^4}{180}p^4\alpha^4\mu^4 + \ldots\ldots \tag{23}$$

$$L'' = l\left[A + \mu\left(\frac{1}{2} + \frac{k}{6}p\alpha\mu - \frac{1-3k^2}{48}p^2\alpha^2\mu^2 - \frac{k(1-k^2)}{45}p^3\alpha^3\mu^3 + \ldots\ldots\right)\right]. \tag{24}$$

Comparons maintenant ces deux dernières relations avec les relations (18) et (19) de Lord Rayleigh [3] et pour faciliter cette comparaison supposons que la fréquence du courant

---

(1) Il suffit, en effet, de remarquer que dans ce cas la relation (10) se réduit analytiquement à

$$\Phi(x) = \frac{1}{2\sqrt{\pi}}\frac{e^{2\sqrt{x}}}{x^{\frac{1}{4}}}$$

de sorte que

$$\frac{\Phi(x)}{\Phi'(x)} = x^{\frac{1}{2}} \tag{15 bis}$$

et

$$\frac{\Phi(ip\alpha\mu)}{\Phi'(ip\alpha\mu)} = \sqrt{\frac{1}{2}(p\alpha\mu)}.(1+i).$$

(2) En effet, par un calcul en tous points analogue au précédent on obtient,

$$\frac{E}{RC} = (i-k)p\alpha A + \frac{\Phi(ip\alpha\mu - kp\alpha\mu)}{\Phi'(ip\alpha\mu - kp\alpha\mu)}; \tag{22}$$

et en tenant compte de la relation (15),

$$\begin{aligned} \frac{\Phi(ip\alpha\mu - kp\alpha\mu)}{\Phi'(ip\alpha\mu - kp\alpha\mu)} = 1 - \frac{1}{2}kp\alpha\mu + \frac{1-k^2}{12}p^2\alpha^2\mu^2 + \frac{k(3-k^2)}{48}p^3\alpha^3\mu^3 - \frac{1-6k^2+k^4}{180}p^4\alpha^4\mu^4 + \ldots\ldots \\ + i\left[\frac{1}{2}p\alpha\mu + \frac{k}{6}p^2\alpha^2\mu^2 - \frac{1-3k^2}{48}p^3\alpha^3\mu^3 - \frac{4k(1-k^2)}{180}p^4\alpha^4\mu^4 + \ldots\ldots\right] \end{aligned}$$

et en substituant cette valeur de $\frac{\Phi}{\Phi'}$ dans (22) on obtient les relations (23) et (24). — C. Q. F. D. —

(3) Faisons remarquer qu'en faisant $k = 0$ dans (23) et (24) on retombe sur les relations (18) et (19) de Lord Rayleigh.

soit telle qu'on puisse négliger dans (23) et (24) les termes d'ordre supérieur au deuxième ou au troisième. On obtient ainsi,

$$\frac{R''-R'}{R} = k^2p^2\alpha^2\mu^2 + \frac{k(1-k^2)}{24}p^3\alpha^3\mu^3$$

$$L''-L = l\mu\left[\frac{k}{6}p\alpha\mu + \frac{k^2}{16}p^2\alpha^2\mu^2\right].$$

ce qui nous indique que *l'effet de l'amortissement est d'accroître la résistance et la self-induction* ; en d'autres termes ce qu'on peut appeler résistance et self-induction dans le cas d'un courant périodique amorti, sont plus grandes que la résistance effective et la self-induction effective du cas des courants périodiques à amplitude constante.

Décharges de haute fréquence. — Supposons maintenant que p soit très grand (ce qui arrive pour les ondes qui prennent naissance *dans* un oscillateur de Hertz, ou pour celles qui se propagent *au-delà* de l'oscillateur).

En posant

$$s = \sqrt{1+k^2}$$

et

$$\cot\theta = k,$$

on obtient par un calcul qui n'a rien de compliqué [1],

$$\frac{R''}{R} = \left(\alpha\mu p s^3\right)^{\frac{1}{2}}\cos\frac{\theta}{2} \tag{26}$$

et,

$$L'' = l\left[A + \left(\frac{\mu s}{\alpha p}\right)^{\frac{1}{2}}\cos\frac{\theta}{2}\right]. \tag{27}$$

Discussion. — En posant $k=0$ dans ces deux dernières équations, ce qui revient à faire $s=1$ et $\theta=\frac{\pi}{2}$, nous obtenons les équations (20) de Lord Rayleigh (ondes périodiques simples, entretenues). En examinant les équations (26) et (27) on voit que pour une valeur donnée de p, si k varie de o à l'∞, le facteur en s croît au delà de toute limite pendant que le facteur en θ croît jusqu'à l'unité. Il résulte de là que si l'amortissement croît, R″ et L″ croissent aussi — tant que les équations précédentes restent applicables —.

Si $k=\infty$, la fréquence résultante est nulle [2].

En divisant (26) par la première équation (20), on obtient

$$\frac{R''}{R'} = \left(2s^3\right)^{\frac{1}{2}}\cos\frac{\theta}{2} = K \tag{28}$$

(1) Dans ce cas l'équation (15) devient,

$$\frac{\Phi(ip\alpha\mu - kp\alpha\mu)}{\Phi'(ip\alpha\mu - kp\alpha\mu)} = \sqrt{(i-k)p\alpha\mu} = \left(p\alpha\mu s\right)^{\frac{1}{2}}\left(i\cos\frac{\theta}{2} + \sin\frac{\theta}{2}\right);$$

en substituant cette valeur de $\frac{\Phi}{\Phi'}$ dans l'équation (21) il vient,

$$\frac{E}{RC} = \left(\alpha\mu p s^3\right)\frac{1}{2}\cos\frac{\theta}{2} + \left(i-k\right)p\left(\alpha A + \sqrt{\frac{\alpha\mu s}{p}}\cos\frac{\theta}{2}\right);$$

d'où, les équations (26) et (27). — C. Q. F. D.

(2) Cela résulte du fait que le courant électrique, ou les ondes, provenant d'une décharge oscillante peuvent être représentées par $e^{-kpt}\cos pt$ où kp est *fini*.

***

ce qui nous indique que *pour une valeur donnée de* k, *le rapport* $\frac{R''}{R'}$ *est indépendant de la fréquence de l'onde :* il est fonction de k seulement.

Différencions alors (28) par rapport à k; il vient,

$$\frac{dK}{dk} = \frac{3k \cos\frac{\theta}{2} + \sin\frac{\theta}{2}}{\sqrt{2s}}; \qquad (29)$$

il en résulte que $\frac{dK}{dk}$ est positif pour toutes les valeurs de k comprises entre o et l'∞ ; K croit donc continuellement avec k.

Pour $k = 0$ nous avons,

$$\frac{dK}{dk} = \frac{1}{2}$$

qui nous permet de tracer K comme fonction de k.

En différenciant (29) par rapport à k, il vient,

$$\frac{d^2K}{dk^2} = \frac{1}{\sqrt{2^3 s^5}}\left[(7 + 3k^2)\cos\frac{\theta}{2} + 2k \sin\frac{\theta}{2}\right].$$

Cette expression étant positive pour toutes les valeurs de k depuis o à l'∞ il en résulte

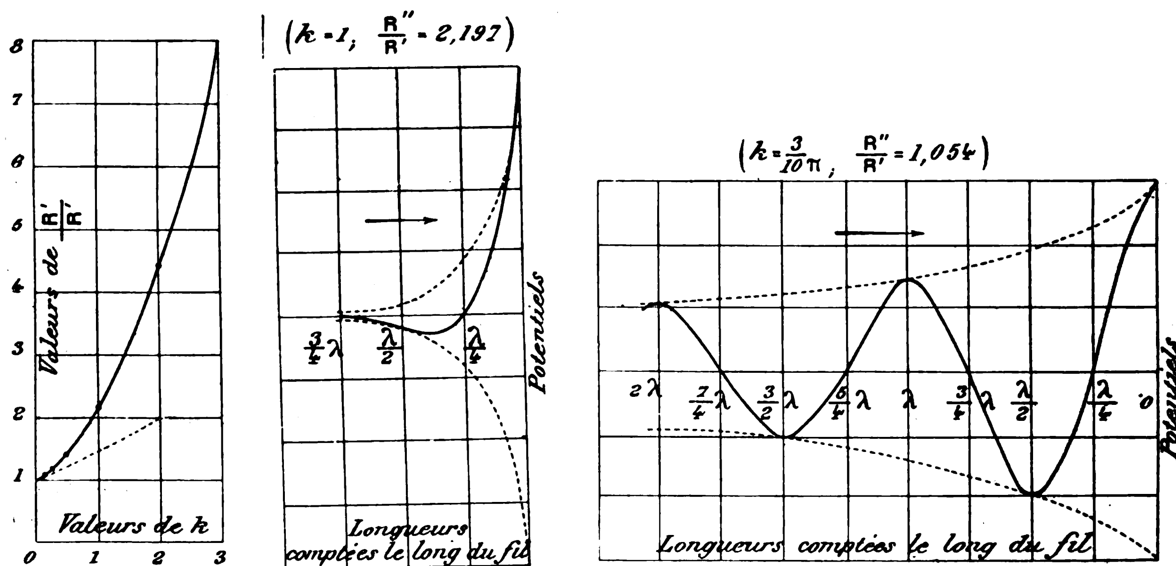


Fig. 1 à 3.

que la courbe qui représente K en fonction de k tourne toujours sa convexité vers l'axe des k.

La figure 1 représente une portion de cette courbe (K étant porté en ordonnées et k en abcisses).

La figure 2 représente un train d'ondes pour lesquelles $k = 1$ et $K = 2{,}197$.

La figure 3 correspond à des ondes où $k = \frac{3}{10\pi}$ approximativement, le décrément logarithmique $2\pi k = 0{,}6$ et $K = \frac{R''}{R'} = 1{,}054$ (1).

(1) *Barton*, Attenuation of Electric Waves along a Line of negligible Leakage. Phil. Mag., sept. 1898, pp. 296-300.

II. Décharge oscillante d'un condensateur

La théorie de la décharge oscillante d'un condensateur a été faite principalement par Sir W. Thomson. Mais si cette théorie a l'avantage d'être simple elle ne peut pas être considérée comme rigoureuse. La décharge oscillante, en particulier, modifie beaucoup les conditions du problème, comme nous allons le voir. M. Barton ([1]) en considérant la distribution du courant dans le fil qui réunit les deux armatures du condensateur et en modifiant en conséquence l'équation différentielle de la décharge, est arrivé, en ce qui concerne la décharge oscillante, à des résultats très intéressants. Ce sont ces résultats que nous nous proposons d'analyser en renvoyant pour plus de détails au mémoire de M. Barton.

Considérons un condensateur de capacité γ dont les armatures sont chargées de quantités $+Q$ et $-Q$ d'électricité et supposons qu'on réunisse ces armatures par un fil conducteur. En prenant comme sens positif du courant un sens tel que le courant augmente les charges des deux armatures ([2]) et en désignant par L la self induction du circuit, l'équation de la décharge est la suivante :

$$\frac{Q}{\gamma} + R\frac{dQ}{dt} + L\frac{d^2Q}{dt^2} = 0. \qquad (2)$$

L'intégrale générale de cette équation est

$$Q = M_1 e^{x_1 t} + M_2 e^{x_2 t}$$

où M_1, M_2 sont des constantes et x_1, x_2 les racines de l'équation algébrique

$$\frac{1}{\gamma} + Rx + Lx^2 = 0. \qquad (3)$$

Si

$$\gamma > \frac{4L}{R^2}$$

les racines de cette équation sont réelles : la décharge est continue.

Si

$$\gamma < \frac{4L}{R^2}$$

x_1 et x_2 sont imaginaires : la décharge se compose d'oscillations périodiques à amplitude décroissante.

Mais au lieu de considérer le courant total, considérons *la distribution du courant dans le fil*. Alors, on n'a plus la relation (1) ; Maxwell obtient dans ce cas pour la valeur de la force électromotrice, la relation suivante ([3])

$$E = RC + l\left(A + \frac{1}{2}\right)\frac{dC}{dt} - \frac{1}{12}\frac{l^2}{R}\frac{d^2C}{dt^2} + \frac{1}{48}\frac{l^3}{R^2}\frac{d^3C'}{dt^3} - \frac{1}{180}\frac{l^4}{R^3}\frac{d^4C}{dt^4} + \ldots$$

([1]) *Philosophical Magazine*, vol. 47, July 1899.

([2]) On a donc pour la valeur de la force électromotrice,

$$E = RC + \frac{Q}{\gamma} + L\frac{dC}{dt} \qquad (1)$$

C étant le courant total.

([3]) Cette relation se déduit facilement des formules (8) et (9) que nous avons trouvées précédemment. En effet, en éliminant T entre ces deux relations par l'emploi de l'inverse de la série (8).

$$\alpha\frac{dT}{dt} = -C + \frac{1}{2}\alpha\frac{dC}{dt} - \frac{1}{6}\alpha^2\frac{d^2C}{dt^2} + \frac{7}{144}\alpha^3\frac{d^3C}{dt^3} - \frac{739}{2880}\alpha^4\frac{d^4C}{dt^4} + \ldots$$

Lord Rayleigh en y introduisant μ obtient [1]

$$E = RC + L\frac{dC}{dt} - \frac{1}{12}R\alpha^2\mu^2\frac{d^2C}{dt^2} + \frac{1}{48}R^2\alpha^3\mu^3\frac{d^3C}{dt^3} - \frac{1}{180}R^3\alpha^4\mu^4\frac{d^4C}{dt^4} + \ldots$$

l'équation (2) de la décharge doit donc être modifiée comme il suit, en exprimant C en fonction de Q,

$$\frac{Q}{\gamma} + R\frac{dQ}{dt} + L\frac{d^2Q}{dt^2} - \frac{1}{12}R\alpha^2\mu^2\frac{d^3Q}{dt^3} + \frac{1}{48}R\alpha^3\mu^3\frac{d^4C}{dt^4} - \ldots\ldots\ldots = 0. \tag{4}$$

Nous écrirons cette équation sous la forme,

$$\frac{Q}{\gamma} + R\frac{dQ}{dt} + L\frac{d^2Q}{dt^2} + \Phi\left(\frac{d}{dt}\right)Q = 0. \tag{5}$$

Remarquons que cette équation suppose que le circuit est rectiligne car les relations précédentes ont été établies par Maxwell dans cette hypothèse. Pour un fil courbé on doit avoir probablement une équation de la même forme, seulement avec des coefficients différents.

Quelle est l'effet de ces termes additionnels sur la condition $\gamma < \frac{4L}{R^2}$ qui nous donnait, d'après la théorie simple, une décharge oscillante ?

Remarquons d'abord que les coefficients de ces termes additionnels sont en général très petits comparativement à R [2] et que par conséquent en mettant e^{xt} à la place de Q dans l'équation (4) on obtiendra une équation algébrique dont les termes d'ordres supérieurs au second auront une importance minime et d'ailleurs décroissante. Ces termes

---

on obtient,

$$\alpha\left(\frac{dC}{dt} - \frac{dS}{dt}\right) + C = \frac{1}{2}\alpha^2\frac{d^2T}{dt^2} + \frac{1}{6}\alpha^3\frac{d^3T}{dt} + \frac{1}{48}\alpha^4\frac{d^4C}{dt^4} + \ldots.$$

Des deux dernières équations on tire,

$$\alpha\left(A\frac{dC}{dt} - \frac{dS}{dt}\right) + C + \frac{1}{2}\alpha\frac{dC}{dt} - \frac{1}{12}\alpha^2\frac{d^2C}{dt^2} + \frac{1}{48}\alpha^4\frac{d^3C}{dt^3} - \frac{1}{180}\alpha^5\frac{d^4C}{dt^4} + \ldots\ldots = 0$$

et finalement, en tenant compte des relations (13).

$$E = RC + l\left(A + \frac{1}{2}\right)\frac{dC}{dt} - \frac{1}{12}\frac{l^2}{R}\frac{d^2C}{dt^2} + \frac{1}{48}\frac{l^3}{R^2}\frac{d^3C}{dt^3} - \frac{1}{180}\frac{l^4}{R^3}\frac{d^4C}{dt^4} + \ldots.$$

(1) Nous avons remplacé le coefficient du terme en $\frac{dC}{dt}$ par L. Ce coefficient a en réalité pour valeur

$$l\left(A + \frac{1}{2}\mu\right),$$

Mais cette valeur correspond bien à L ; on n'a, en effet, qu'à faire $p = 0$ dans la formule (19) de Lord Reyleigh.

(2) En effet, considérons un fil de fer et adoptons, avec Lord Rayleigh, pour ρ et μ les valeurs suivantes : $\rho = 10^4$, $\mu = 300$. Il vient alors :

$$\mu\alpha = \mu\frac{l}{R} = \mu\frac{S}{\rho} = \frac{\mu}{\rho}\pi a^2 = 300\frac{\pi a^2}{10^4} = \frac{3\pi r^2}{100}$$

et par conséquent le coefficient de $\frac{d^5Q}{dt^5}$ aura pour valeur,

$$\frac{1}{180}R\alpha^4\mu^4 < R\,10^{-5}$$

Pour le cuivre cette valeur sera encore plus petite.

auront pour effet : 1° d'introduire des racines très grandes, correspondant à des oscillations très rapides; celles-ci seront évidemment de très faible amplitude et par suite n'influeront pas sur le phénomène principal de la décharge; 2° de modifier les racines de l'équation algébrique (3).

Le cas de la décharge continue $\left(\gamma > \frac{4L}{R^2}\right)$ et celui de la décharge oscillante $\left(\gamma < \frac{4L}{R^2}\right)$ sont séparés par le cas de *la capacité critique* $\left(\gamma = \frac{4L}{R^2}\right)$.

Dans ce dernier cas notre équation algébrique (3) a ses racines égales, et si nous considérons la courbe

$$y = \frac{1}{\gamma} + Rx + Lx^2, \tag{6}$$

nous voyons que cette courbe a un contact avec l'axe des x au point $x = -\frac{R}{2L}$ et est entièrement située au-dessus de l'axe des x.

Si nous considérons maintenant la courbe

$$y = -\frac{1}{12} R\alpha^2\mu^2x^3 + \ldots\ldots \tag{7}$$

nous voyons qu'elle est également située au-dessus de l'axe des x, du moins, pour les x négatifs.

En combinant ces deux graphiques (6) et (7) nous obtenons le graphique parabolique déplacé vers le haut de sorte que les racines de l'équation algébrique deviennent imaginaires. Il résulte donc de ce qui précède que *l'effet des termes additionnels est de faire correspondre la capacité critique à une décharge oscillante.*

Maintenant, pour trouver, dans un degré quelconque d'approximation, la condition d'égalité des deux racines principales de l'équation algébrique correspondant à l'équation différentielle (5), M. Barton se sert du principe qu'une racine double de l'équation $\Phi(x) = 0$ est également une racine de l'équation $\Phi'(x) = 0$.

Reprenons donc l'équation (5) et écrivons l'équation algébrique correspondante,

$$\frac{1}{\gamma} + Rx + Lx^2 + \Phi(x) = 0\,. \tag{8}$$

L'équation dérivée sera la suivante

$$R + 2Lx + \Phi'(x) = 0. \tag{9}$$

Soit

$$x = -\frac{R}{2L} + \theta$$

la racine commune de ces deux équations (8) et (9); remarquons en passant que θ est très petit. En substituant cette valeur de x dans (9) et en désignant par Φ_0 la valeur de $\Phi\left(-\frac{R}{2L}\right)$ on obtient finalement [1],

$$\theta = -\frac{\Phi'_0}{2L} + \frac{\Phi'_0\Phi''_0}{4L^2} - \frac{\Phi_0'}{16L^3}(2\Phi_0''^2 + \Phi_0'\Phi_0''')\,. \tag{11}$$

[1] En effet en substituant x dans (9) il vient

$$2L\theta + \Phi'\left(-\frac{R}{2L} + \theta\right) = 0$$

et en introduisant Φ_0,

$$2L\theta + \Phi_0' + \Phi_0''\theta + \frac{1}{2}\Phi_0'''\theta^2 + \ldots\ldots = 0$$

d'où la relation (11).

Substituons maintenant la valeur de x et de θ dans l'équation (8) ; il vient,

$$\frac{1}{\gamma} = \frac{R^2}{4L} - \Phi_0 + \frac{\Phi_0'^2}{4L} \frac{\Phi_0'^2 \Phi_0''}{8L^2} + \ldots\ldots \tag{12}$$

cette relation contient des termes jusqu'en Φ_0^3 ou jusqu'en $\alpha^6 \mu^6$.

En y substituant les valeurs numériques et en ordonnant les puissances de $\alpha\mu$, il vient finalement,

$$\frac{1}{\gamma} = \frac{R^2}{4L} - \frac{1}{96} \frac{R^4 \alpha^2 \mu^2}{L^3} - \frac{1}{768} \frac{R^5 \alpha^3 \mu^3}{L^4} + \frac{37}{46080} \frac{R^6 \alpha^4 \mu^4}{L^5} \ldots\ldots \tag{13}$$

Ou encore en désignant par l la longueur du fil et en tenant compte de la relation

$$\alpha = \frac{l}{R}$$

$$\frac{1}{\gamma} = \frac{R^2}{4L^2}\left[1 - \frac{1}{24}\left(\frac{\mu l}{L}\right)^2 - \frac{1}{192}\left(\frac{\mu l}{L}\right)^3 + \frac{37}{11520}\left(\frac{\mu l}{L}\right)^4 + \ldots\ldots\right] \tag{14}$$

Ces deux dernières relations (13) et (14) nous montrent que *la capacité critique est plus grande que la valeur qui lui est assignée par la théorie simple.*

Il est intéressant de comparer les résultats que nous venons d'obtenir en employant la méthode qui précède, à une autre méthode *plus physique* de traiter la question. Nous avons vu en analysant le premier travail de M. Barton, que si on considère un fil parcouru par une décharge oscillante amortie, la self-induction et la résistance de ce fil deviennent un peu plus grandes que leurs valeurs calculées par Lord Rayleigh pour les courants périodiques à amplitude constante.

Pour les courants périodiques amortis la méthode employée par M. Barton revenait à remplacer la valeur du courant total C par $e^{(i-k)pt}$ et à arranger le résultat final sous la forme

$$\frac{1}{\gamma} + (ip - kp)R'' + (ip - kp)^2 L'' = 0. \tag{15}$$

Les quantités réelles L″ et R″ donnaient la *résistance équivalente* et la *self-induction équivalente.*

En appliquant cette méthode au problème qui nous occupe nous obtiendrons la capacité critique que nous cherchons en remplaçant dans la relation $\gamma = \frac{4L}{R^2}$ les quantités R et L par des valeurs appropriées.

Ces valeurs peuvent être obtenues avec une approximation suffisante en faisant $p = 0$ et $kp = \frac{R}{2L}$ dans les équations (23) et (24) qui nous font connaître L″ et R″. Le résultat qu'on obtient est d'accord avec la relation (14) *pour les termes qui sont écrits.*

Mais voyons cela d'un peu plus près en étudiant la question au point de vue analytique pour voir jusqu'à quel ordre des termes en $\alpha\mu$ ce procédé est valable.

Reprenons donc l'équation (5) et remplaçons-y $\Phi\left(\frac{d}{dt}\right)Q$ par $\Phi\,(ip - kp)$; il vient,

$$\frac{1}{\gamma} + R(ip - kp) + L(ip - kp)^2 + \Phi(ip - kp) = 0\,. \tag{16}$$

En développant $\Phi\,(ip - kp)$ par la série de Taylor, il vient,

$$\Phi(ip - kp) = (ip - kp)\frac{\Phi(ip - kp)}{(ip - kp)} = (ip - kp)\left[\frac{\Phi(-kp)}{-kp} + ip\left\{\frac{\Phi'(-kp)}{-kp} - \frac{\Phi(-kp)}{k^2p^2}\right\} + \ldots\right]$$

$$= (ip - kp)\left[-\frac{2\Phi(-kp)}{kp} - \Phi'(-kp) + \ldots\ldots\right] + (ip - kp)^2\left[-\frac{\Phi(-kp)}{k^2p^2} - \frac{\Phi'(-kp)}{kp} + \ldots\ldots\right].$$

Posons maintenant $p = 0$; $kp = \frac{R}{2L}$ et arrangeons les termes de l'équation (16) sous la forme (15). On obtient ainsi pour la résistance équivalente et pour la self-induction équivalente

$$R_0'' = R - \frac{4L}{R}\Phi_0 - \Phi_0'$$
$$L''_0 = L - \frac{4L^2}{R^2}\Phi_0 - \frac{2L}{R}\Phi_0'.$$

Ces relations sont conformes aux relations (23) et (24) si on y fait $p = 0$ et $kp = \frac{R}{2L}$.

Nous voyons donc, en résumé, que l'emploi de la condition

$$\gamma = \frac{4L''}{R_0''^2}$$

équivaut, analytiquement, à mettre l'équation (8) sous la forme

$$\frac{1}{\gamma} + \left\{ R + \frac{2\Phi(x)}{x} - \Phi'(x) \right\} x + \left\{ L - \frac{\Phi(x)}{x^2} + \frac{\Phi'(x)}{x} \right\} x^2 = 0 \quad (17)$$

où x, à l'intérieur des parenthèses, a pour valeur $-\frac{L}{2R}$, et de la traiter comme une équation du second degré à coefficients constants.

Quant au degré d'approximation qu'on atteint en employant cette méthode, nous pouvons en être renseignés, en développant $\frac{R_0''^2}{4L''_0}$,

$$\frac{1}{\gamma} = \frac{R^2}{4L^2} - \Phi_0 + \frac{\Phi_0'^2}{4L} + \frac{\Phi_0'^2}{2R^2}(2L\Phi_0 + R\Phi_0')\ldots.. \quad (18)$$

qui est d'accord avec le développement correct de (12) jusqu'aux termes du second degré inclusivement. Et si on exprime cette condition (18) en une série de puissances de $\alpha\mu$, on obtient une série qui concorde avec la série (13) jusqu'aux termes en $\alpha^6 \mu^6$ inclusivement.

Remarque. — Nous avons vu qu'en considérant la distribution du courant dans le fil qui relie les deux armatures d'un condensateur, si ce condensateur a une capacité égale à la capacité *critique* de la théorie simple, il donne alors une décharge oscillante. Ceci semble être contredit par le fait bien connu que la résistance d'un fil est plus grande et que sa self-induction est plus petite s'il est traversé par un courant périodique que s'il était traversé par un courant continu, et que, par conséquent, une augmentation de résistance et une diminution de self-induction favoriserait plutôt une décharge non oscillante. Il n'en est pourtant rien, et l'explication de ce paradoxe apparent est précisément l'effet de l'amortissement sur la self-induction.

Nous avons vu, en effet, que l'amortissement des oscillations cause une augmentation de la résistance et de la self-induction. Maintenant, si cet amortissement est grand et la fréquence petite (et c'est ce qui arrive dans le voisinage de notre *cas critique*), ce qu'on peut appeler self-induction équivalente devient alors plus grande que la valeur qu'elle aurait si le conducteur était parcouru par un courant permanent, et nous allons voir que cet accroissement de la self-induction emporte sur l'accroissement de la résistance dans son effet sur le critérium de la décharge oscillante.

Considérons, en effet, un courant de la forme $e^{(i-k)pt}$ parcourant un fil. Nous avons vu que dans ce cas la self-induction équivalente de ce fil est donnée par

$$L'' = l\left[A + \mu\left(\frac{1}{2} + \frac{kp\alpha\mu}{6} - \frac{1-3k^2}{18}p^2\alpha^2\mu^2 - \ldots\right)\right].$$

Pour un courant continu on aurait (voir l'analyse de plus haut)

$$L = l\left(A + \frac{1}{2}\mu\right).$$

On voit donc que si l'amortissement kp est assez grand comparativement à p, alors

$$L'' > l\left(A + \frac{1}{2}\mu\right)$$

Mais pour quelle période cette conclusion serait-elle légitime ?
Remarquons pour cela que si

$$k = \frac{p\alpha\mu}{8},$$

tous les termes en $p^2\ \alpha^2\ \mu^2$, etc., de la formule qui nous donne L'', sont positifs et si nous nous plaçons dans le cas du fer comme nous l'avons fait plus haut, $\alpha\mu = \frac{3\pi a^2}{100}$ ou si $a = 1$ mmq, alors $\alpha\ \mu = \frac{1}{1\,000}$ approximativement ; cela donne comme amortissement nécessaire $k = \frac{p}{8\,000}$ et pour décrément logarithmique de chaque onde $\frac{2\pi p}{8\,000}$ approximativement ; ou, si n est la fréquence nous aurons, comme rapport d'une amplitude à l'amplitude suivante (les amplitudes étant de même signe)

$$e^{\frac{n}{200}}.$$

Quelle conclusion peut-on tirer de là ? C'est que *la distribution du courant est axiale*. C'est la conclusion de MM. Barton et Morton [1]. C'est une conclusion contraire à celle où on arrive en considérant des courants périodiques d'amplitude constante ; car dans ce cas on est amené à considérer la distribution du courant comme *superficielle*.

Mais voyons cela d'un peu plus près.

Prenons la relation (2) de Maxwell et introduisons-y μ ; elle s'écrit alors

$$-\pi\mu w = T_1 + 4T_2 r^2 + 9T_3 r^4 + \dots + n^2 T_n r^{2n-2}.$$

Nous avions de même (voir plus haut en note),

$$\alpha\frac{dT}{dt} = -C + \frac{1}{2}\mu\alpha\frac{dC}{dt} - \frac{1}{6}\mu^2\alpha^2\frac{d^2C}{dt^2} + \dots$$

d'où

$$\pi a^2 w = C - \mu\alpha\frac{dC}{dt}\left(\frac{1}{2} - \frac{r^2}{a^2}\right) + \mu^2\alpha^2\frac{d^2C}{dt^2}\left(\frac{1}{6} - \frac{1}{2}\frac{r^2}{a^2} + \frac{1}{4}\frac{r^4}{a^4}\right)\dots$$

En appliquant cette formule aux oscillations amorties, il vient en posant $C = e^{-kpt}\cos pt$.

$$\pi a^2 w = e^{-kpt}\cos pt\left[1 + kp\alpha\mu\left(\frac{1}{2} - \frac{r^2}{a^2}\right) + \alpha^2\mu^2(k^2p^2 - p^2\left(\frac{1}{6} - \frac{1}{2}\frac{r^2}{a^2} + \frac{1}{4}\frac{r^4}{a^4}\right)\dots\right]$$
$$+ e^{kpt}\sin pt\left[p\alpha\mu\left(\frac{1}{2} - \frac{r^2}{a^2}\right) + 2kp^2\alpha^2\mu^2\left(\frac{1}{6} - \frac{1}{2}\frac{r^2}{a^2} + \frac{1}{4}\frac{r^4}{a^4}\right)\dots\right]$$

ce résultat peut se mettre sous la forme

$$Ae^{-kpt}\cos(pt + \beta).$$

où

$$A = 1 + \frac{1}{2}kp\alpha\mu\left(1 - \frac{2r^2}{a^2}\right) + \alpha^2\mu^2\left[k^2p^2\left(\frac{1}{6} - \frac{r^2}{2a^2} + \frac{r^4}{a^4}\right) + \frac{1}{4}p^2\left(\frac{r^4}{a^4} - \frac{1}{6}\right)\dots\right]$$

---

(1) *Phil. Mag.*, vol. XLVII, juillet 1899.

Discutons cette formule.

Si $kp = 0$ (pas d'amortissement), alors

$$A = 1 + \alpha^2\mu^2\left[\frac{1}{4}\,p^2\left(\frac{r^4}{a^4} - \frac{1}{6}\right)\cdots\right]$$

ce qui explique la concentration *superficielle* du courant, car on voit d'après cette formule que A et par conséquent w diminue avec r.

Si au contraire kp est assez grand pour que le terme en k^2p^2 soit le plus important, alors,

$$A = 1 + \alpha^2\mu^2k^2p^2\left(\frac{1}{6} - \frac{r^2}{2a^2} + \frac{r^4}{a^4}\right)$$

A augmente pendant que r diminue : c'est la concentration *axiale* du courant.

Ainsi donc si nous considérons un fil parcouru par des perturbations rapidement amorties et si les alternances sont suffisamment lentes pour permettre au courant de pénétrer dans le fil, nous aurons une concentration du courant suivant l'axe du fil ; du moins pendant les derniers stages du phénomène.

Eugène Néculcéa.

SYSTÈMES DE TÉLÉGRAPHIE RAPIDE [1]

TRANSMISSION DES SIGNAUX

De la différenciation des signes par la durée et par le moment. — Lorsque la différenciation entre les éléments d'un signal s'obtient uniquement par leur *durée*, les variations qui se produisent dans l'état électrique de la ligne et qui tendent toutes à déformer les signaux, sont beaucoup moins à redouter que lorsque la différenciation s'obtient par le *moment* où ils se produisent. En effet :

Dans le premier cas les signaux peuvent à la rigueur être plus ou moins déformés sans cesser d'être intelligibles pourvu qu'on puisse faire la distinction des points et des traits par la place de ceux-ci, c'est-à-dire le *moment* où les émissions doivent produire leur effet. Nous pouvons même dire et c'est un fait connu des praticiens, qu'il est possible de traduire des signaux soit avec des points manquant complètement ou doublés de longueur, soit avec des traits diminués de moitié ou trop allongés lorsque ces déformations se produisent dans des mots courants ne laissant aucun doute sur la traduction volontaire que l'on fait des signaux tronqués.

Ces variations n'apportent aucune perturbation dans la marche régulière des appareils au point de vue mécanique et la traduction ne devient même impossible que si le nombre des signaux tronqués devient trop grand.

Dans le deuxième cas, ces variations constituent au contraire la cause la plus sérieuse des difficultés que l'on rencontre lorsqu'on veut réaliser une *transmission rapide* au moyen des systèmes avec lesquels la différenciation entre les éléments d'un signal s'obtient par le *moment* où ils se produisent, ce qui a lieu avec tous les systèmes basés sur la *division du temps*.

---

[1] Voir *L'Éclairage Électrique* du 19 mai, du 2, du 9 et du 23 juin, p. 241, 328, 367 et 456.

....

Cette différenciation devient, en effet, impossible dès que les variations dans le *moment* atteignent *une valeur égale* ou supérieure à un demi contact, où autrement dit à la moitié de la durée de l'émission la plus courte. D'où l'on peut conclure que la régularité et la sécurité dans la différenciation des signes croissent en raison de la longueur du contact et de la durée de l'émission. Cependant il y a une remarque importante à faire relativement à la durée de l'émission : c'est que cette durée *se prolongerait inutilement au delà du temps nécessaire au fonctionnement des organes récepteurs* et qu'elle deviendrait même nuisible après ce fonctionnement en raison de la lenteur avec laquelle l'intensité de la charge diminue au poste d'arrivée après la cessation du contact de la ligne avec la source électrique au poste de départ comme nous allons le démontrer.

Loi suivant laquelle l'intensité croît sur un conducteur. Courbes de charge et de décharge. Queues de courant. — Quoique l'électricité se propage dans les conducteurs avec une rapidité vertigineuse, cette propagation est cependant loin d'être instantanée. Sa durée dépend à la fois de la *capacité* du conducteur, de sa *résistance* et de la *self-induction* dont il peut être le siège. Il s'écoule en somme un temps appréciable entre le *moment* où l'on commence une émission de courant à un bout de la ligne et celui où l'armature d'un électro-aimant, placé à l'autre bout de la ligne, fonctionne.

Néanmoins, on constate dans le poste récepteur des traces de courant à l'instant précis où se produit l'émission mais l'intensité du courant ne croît qu'avec une lenteur relative.

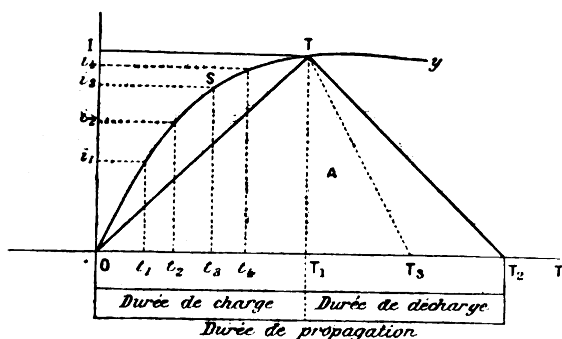


Fig. 12.

Le diagramme 1 (fig. 12) nous montre le phénomène complet d'une émission.

La ligne OI représente l'intensité et la ligne OT le temps.

La loi suivant laquelle l'intensité croît, est représentée par la courbe O*y* qui est la courbe de charge.

Cette courbe nous montre que l'intensité, faible au début, va en augmentant très rapidement, puis plus lentement pour atteindre bientôt une valeur maximum qui dépend exclusivement de la force électromotrice de la pile et de la résistance du conducteur.

Pour faciliter la démonstration, nous remplacerons la courbe par une ligne droite OT en supposant la durée de l'émission ou temps de charge égale à OT_1 et sur la ligne OI nous tracerons les ordonnées i_1, i_2, i_3, i_4 correspondant aux variations de l'intensité.

A l'examen de la figure on comprend que l'arrivée du courant sera signalée plus ou moins rapidement par l'appareil récepteur suivant que la sensibilité de cet appareil sera plus ou moins grande.

Si, en effet, l'armature de l'électro-récepteur, obéit à un courant d'intensité Oi_1 la durée de charge correspondra au temps Ot_1, tandis que si elle n'obéit qu'à un courant d'une intensité Oi_2 Oi_3 ou Oi_4 la durée de charge correspondra aux temps Ot_2, Ot_3 ou Ot_4.

La courbe de décharge étant semblable à la courbe de charge, nous la remplaçons également par la ligne droite TT_2. La base du triangle A ainsi formée est égale à la *durée de propagation du courant*.

On a calculé que la durée de propagation est d'environ 2/100 de seconde sur un conducteur ordinaire d'une longueur de 500 km ; mais ce temps n'est qu'approximatif, car il

varie dans d'assez fortes proportions non seulement avec la nature de la ligne mais suivant l'état dans lequel elle se trouve au moment de l'émission ainsi qu'avec la nature et la sensibilité des organes récepteurs.

Dans la pratique tous les efforts tendent non seulement à redresser la courbe de charge par l'emploi de bons conducteurs de faible résistance et par une force motrice appropriée, mais aussi à précipiter la courbe de décharge soit en reliant le conducteur à la terre, soit en envoyant des courants inverses aux courants de charge afin de réduire la *durée de propagation de courant*, c'est-à-dire la base du triangle avec lequel nous avons représenté le phénomène complet d'une émission.

Dans notre diagramme I la courbe de décharge est égale à la courbe de charge car nous avons supposé la décharge s'effectuant normalement sans l'intervention d'aucun des moyens employés pour en diminuer la durée et dont le principal consiste à mettre la ligne un instant à la terre par une communication sans résistance au poste d'arrivée entre chaque réception.

Cette communication directe de la ligne avec la terre redresse la courbe de décharge comme le montre la ligne pointillée TT^3, elle a pour but de faire disparaître tout reste de charge avant l'envoi d'une nouvelle émission.

Queues de courant. — Les restes de charge qui persistent après la période normale de décharge sont soumis aux mêmes causes de variation que la charge et sont en conséquence irréguliers, on les désigne sous le nom de *débordements de courant* ou plus communément de *queues de courant*.

Ces queues de courant sont à craindre dans tous les appareils, mais principalement dans les appareils basés sur la division du temps, car si on n'en débarrasse pas assez rapidement la ligne elles se mêlent avec les émissions suivantes en les renforçant ou en les affaiblissant suivant que l'émission qui finit est de même sens ou de sens contraire à l'émission qui commence, ce qui dénature la seconde émission au point de troubler complètement la transmission.

Plots de décharge et de préservation. — Les perturbations qui se produisent sur la ligne se traduisent dans les appareils rapides basés sur la division du temps par la nécessité d'établir entre chaque *moment* ou *plot de réception* un plot de préservation ou de décharge comme le montre en principe notre figure 13.



Fig. 13.

Théoriquement, le plot de réception fait face au centre du plot de transmission et le plot de décharge fait face au dernier quart et au premier quart de deux plots consécutifs de transmission.

Dans ces conditions, le plot de réception est égal à la moitié du plot de transmission.

Il s'ensuit que la durée de décharge ou de préservation est prise sur la durée de réception, ce qui diminue d'autant la valeur de celle-ci, c'est-à-dire la durée du *moment* pendant lequel l'émission peut être reçue utilement.

On comprend alors toute l'importance qu'il y avait à modifier cet état de choses en créant des plots de préservation n'empruntant rien aux plots de réception afin de laisser ceux-ci tout entiers affectés à la période de réception.

C'est ce résultat que M. Munier a obtenu en créant e code III où le nombre des

moments ou plots de réception est bien de cinq comme au Baudot, mais où les signes élémentaires composant un signal ne sont que de *deux* au maximum au lieu de *cinq* avec, en outre, cette différence essentiellement importante que *deux plots consécutifs* et par suite *deux émissions successives n'entrent jamais dans la formation d'un signal.*

Par ce moyen les plots mêmes de réception peuvent être utilisés comme plots de préservation.

En effet, tout plot qui suit immédiatement le plot utilisé pour la réception d'une émission étant invariablement inutilisé puisque deux émissions composant un signal ne passent jamais sur deux plots consécutifs, ce plot peut en conséquence être utilisé comme plot de préservation.

A cet effet, M. Munier utilise l'armature de chaque électro récepteur pour commander automatiquement un groupe de ressorts dits de *conjonction* établissant les dérivations voulues des plots de réception avec la terre comme l'indique en principe la figure 15.

Cette organisation a en outre pour effet de commencer la décharge immédiatement après le fonctionnement de l'électro récepteur.

D'après ce qui précède, on voit que le *moment* pendant lequel l'émission peut être reçue utilement ainsi que le *moment* de préservation pendant lequel aucune queue de courant ou autres courants perturbateurs ne peuvent être nuisibles sont doubles avec le code III (Munier) qu'avec le code VII (Baudot), comme on peut s'en rendre compte en comparant entre elles les figures 14 et 15.

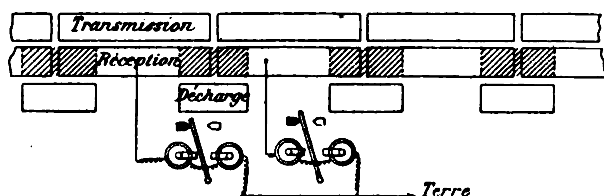


Fig. 14. — Système Baudot. Les plots de décharge sont pris sur les plots de réception.

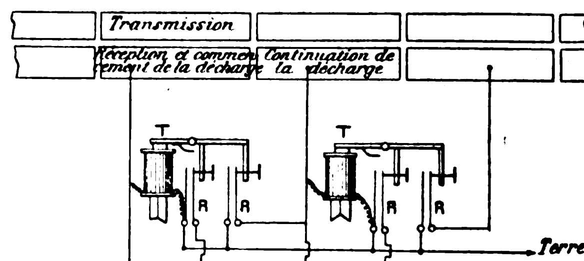


Fig. 15. — Système Munier. Utilisation des plots de réception comme plots de décharge.

Orientation. — Dans la pratique le poste d'arrivée dispose, en dehors des courants énergiques et réguliers que doit lui envoyer le poste de départ, de deux moyens pour forcer le courant à produire son effet au moment voulu.

Le premier de ces moyens consiste en un réglage judicieux des électros récepteurs.

Le deuxième consiste en une opération mécanique désignée sous le nom d'*orientation.*

L'orientation peut se pratiquer par différents moyens, mais nous ne parlerons ici que du moyen qui consiste à déplacer les plots de réception d'un certain angle par rapport aux plots de transmission.

A cet effet les plots de réception sont fixés sur une *couronne* spéciale appelée couronne de réception disposée de manière à pouvoir être déplacée à volonté même pendant la marche des appareils.

L'orientation se décompose en deux parties : la première partie correspond à un angle présumé équivalent à l'angle parcouru par les balais du distributeur récepteur pendant

(1) Voir : Le télégraphe imprimeur multiple Munier, G. Carré, éditeur, 1892 (p. 31 et suivantes.)

que le courant envoyé par les balais du distributeur transmetteur met la ligne dans un état de charge voisin de celui qui doit provoquer le fonctionnement des électros récepteurs. Il s'agit, en effet, de placer les plots de réception dans une position telle, par rapport aux plots de transmission, que les balais du récepteur soient le plus exactement possible au milieu d'un plot de réception lorsque la charge de la ligne est suffisante pour produire le fonctionnement de l'électro récepteur relié à ce plot.

Cette première partie de l'orientation se pratique généralement avant la mise en marche des appareils, elle se fait à vue d'œil d'après la longueur et la résistance connues du conducteur.

La deuxième partie de l'orientation se pratique pendant la marche des appareils, elle englobe d'abord toute erreur commise dans l'orientation à vue d'œil et répond aux variations qui se produisent dans la durée de propagation du courant soit à certaines heures du jour, soit suivant l'état climatérique des régions traversées par le conducteur, soit par suite d'un réglage plus ou moins défectueux des électros récepteurs, soit encore dans les variations de la force électromotrice du courant.

Lorsque les variations sont brusques, énergiques et momentanées elles troublent fatalement la marche régulière des appareils, mais lorsqu'une variation devient permanente et constitue en quelque sorte un nouveau régime, il suffit d'une nouvelle orientation appropriée au nouveau régime pour maintenir la marche régulière des appareils.

Des démonstrations qui précèdent il résulte que le code III (Munier) présente des avantages incontestables sur le code VII (Baudot).

Le premier et le plus important de ces avantages est celui qui est relatif à l'utilisation de deux émissions au maximum au lieu de cinq pour former une combinaison.

De cette réduction du nombre des émissions découlent en effet les autres avantages suivants :

1° Inutilité des courants inversés pour produire un travail déterminé en un temps donné et par suite SUPPRESSION DE L'INDUCTION DUE AU RÉGIME DES COURANTS INVERSÉS ;

2° Inutilisation d'émissions successives sur deux ou plusieurs plots consécutifs, ce qui permet d'utiliser comme plots de décharge ou de préservation les plots de réception inutilisés dans la formation d'un signal et de DOUBLER AINSI LA MARGE OU LE TEMPS DE RÉCEPTION par la suppression des plots intercalaires spéciaux pour la décharge;

3° Emploi d'appareils moins compliqués et moins délicats puisque, d'une part, la précision à obtenir est réduite de moitié et que, d'autre part, le nombre des effets mécaniques concourant à l'impression d'un caractère est moindre dans la proportion de 2 à 5.

Après cette comparaison sommaire entre les deux codes de signaux III et VII suivant notre classement nous nous proposons de démontrer, avant d'entreprendre la description des nouveaux appareils Munier basés sur le code III et le code IV :

1° Que les codes de transmission avec lesquels la différenciation des signes élémentaires s'obtient *par le moment* sont plus avantageux au point de vue du rendement que le code Morse avec lequel la différenciation s'obtient *par la durée* ;

2° Que le progrès dans la science télégraphique réside non dans la recherche des moyens propres à envoyer sur un fil de nombreuses émissions pour atteindre un rendement déterminé ce qui ne s'obtient que par l'envoi de courants alternés essentiellement inducteurs et par conséquent nuisibles au travail des fils voisins [1], mais au contraire

---

[1] Nous croyons intéressant de relater ici l'anecdote suivante qui nous a été contée il y a quelques années. M. X..., faisait observer à l'inventeur de l'un de nos télégraphes les plus rapides que son appareil était véritable-

dans la recherche des moyens propres à produire ce même travail avec le nombre le plus restreint possible d'émissions, de manière à éviter d'une part l'emploi des courants alternés avec leur cortège d'influences nuisibles et à diminuer d'autre part dans la plus large mesure la disproportion entre le travail obtenu et le travail exigé des différents instruments de transmission.

Importance du mode de transmission des signaux. — Malgré les difficultés que l'on rencontre à charger et à décharger rapidement la ligne lorsqu'on veut obtenir de nombreux signes élémentaires en un temps donné, la vitesse de transmission est néanmoins très grande sur de bons conducteurs et permettrait d'atteindre un rendement beaucoup plus élevé que celui auquel on est arrivé jusqu'à ce jour.

En effet, nous avons signalé dans notre chapitre relatif à la durée de propagation du courant quelles étaient les conditions à remplir pour atteindre le maximum de rendement, ces conditions sont : 1° unité d'émission par signal ; 2° ininterruption dans la succession des émissions. Mais nous savons maintenant qu'aucun code de signaux ne permet de réaliser ces deux conditions essentielles d'un rendement maximum.

Nous avons dit dans le même chapitre qu'un récepteur sensible peut enregistrer correctement plus de *100 émissions par seconde* et percevoir des courants dont la durée n'est que de 1/500 seconde ce qui permettrait d'écouler sur un seul fil plus de 2000 télégrammes par heure à la condition que chaque émission produise une lettre.

De ce qui précède, nous pouvons conclure que ni la ligne ni les organes récepteurs dont dispose actuellement la télégraphie n'offrent d'empêchement à un rendement beaucoup plus élevé que celui des appareils les plus rapides imaginés jusqu'à ce jour et que le véritable empêchement réside non seulement dans le *mode de formation* des signaux, mais aussi dans le *mode de transmission* de ces signaux.

La preuve de ce fait est fournie par les appareils rapides actuellement existants.

Appareil Wheatstone. — Prenons comme premier exemple l'appareil Wheatstone, un des plus beaux appareils à transmission rapide que possède la télégraphie. C'est le code VIII (Morse) qui est utilisé avec transmission automatique et courants inversés ininterrompus.

Cet appareil établit la preuve qu'un récepteur bien réglé peut enregistrer jusqu'à 30 000 (trente mille) émissions à la minute puisque dans des expériences faites (sur des conducteurs de faible résistance bien entendu) on a atteint 400 mots à la minute et qu'on aurait pu, paraît-il, atteindre le chiffre de 600 mots correspondant à environ 30 000 émissions.

En effet, d'après le *mode de transmission* des signaux Morse adopté par M. Wheatstone le point et le trait sont obtenus par des émissions brèves de signe + et tous les intervalles par des émissions brèves de signe — de la manière suivante : 1 émission + pour un point, 3 émissions + pour 1 trait, 1 émission — pour l'intervalle entre deux éléments d'un même signal, 3 émissions — entre deux signaux consécutifs et 5 émissions — entre les mots.

Soit, par exemple, le mot Paris à transmettre ; ce mot donnera lieu à la série d'émissions ci-dessous au nombre de 48.

+−+++−+++−+−−−+−+++−−−+−+++−+−−−+−+−−−+−+−+−−−−−

ment inducteur et qu'il gênait beaucoup ses voisins du télégraphe et surtout du téléphone. Ce à quoi l'inventeur répondit : *J'ai des bottes*, que chacun fasse comme moi. Nous ignorons s'il y eut réplique de la part de M. X... Quoiqu'il en soit un régime sans bottes serait sans doute préférable dans l'intérêt de tous.

En considérant le mot moyen formé de 50 émissions nous aurions pour les 600 mots 600 × 50 = 30 000 émissions dont la durée en fractions de seconde est de 30 000 : 60 = 500 ou 1/500 de seconde, fraction signalée plus haut.

Ces chiffres nous donnent une idée de la sensibilité merveilleuse du récepteur et du chef-d'œuvre de mécanique qu'est le transmetteur.

Dans la pratique ces chiffres sont considérablement diminués et la vitesse de déroulement dépasse rarement 60 mots à la minute représentant environ 140 dépêches à l'heure [1].

La vitesse moyenne de déroulement sur les fils ordinaires de 5 à 600 km est de 40 mots à la minute, soit environ 90 dépêches à l'heure.

Dans le cas d'un déroulement de 60 mots à la minute le nombre des émissions est de 60 × 50 = 3 000 à la minute et de 3 000 : 60 = 50 à la seconde.

Dans le cas de 40 mots à la minute le nombre des émissions est de 40 × 50 = 2 000, soit 2 000 : 50 = 33,3 à la seconde.

En résumé, un appareil Wheatstone qui écoule 140 dépêches à l'heure doit envoyer pendant ce temps (60 × 50 × 60) = 180 000 émissions non compris les rectifications, accusés de réception, etc.

Il y a donc disproportion énorme entre le nombre des mots et le nombre des émissions ou autrement dit entre le travail obtenu et le travail exigé des différents instruments de transmission et de réception : ligne, piles, organes mécaniques, organes électriques, employés, etc. Cette disproportion tient non seulement au *mode de formation* des signaux mais aussi au *mode de transmission* de ces signaux. En effet, M. Wheatstone en utilisant le) code VIII (Morse) et en en transmettant les signes comme nous l'avons dit plus haut s'est trouvé dans la nécessité de faire usage des *courants alternés* avec lesquels le nombre des émissions que l'on peut produire et utiliser à l'extrémité d'un long conducteur est considérable. A cela il dut encore ajouter l'emploi de *courants compensateurs* afin de régulariser les signaux en établissant l'équilibre entre les diverses influences exercées sur un récepteur d'une extrême sensibilité.

Nous avons pris l'appareil Wheatstone comme premier exemple de l'importance du *mode de formation* des signaux et du *mode de transmission* de ces signaux parce que cet appareil quoique possédant la transmission la plus rapide des émissions est d'un rendement inférieur à l'appareil multiple Meyer qui utilise cependant le même mode de formation des signaux c'est-à-dire le code VIII (Morse), mais qui emploie un mode de transmission différent.

Nous prendrons en conséquence l'appareil multiple Meyer comme deuxième exemple de l'importance du mode de formation et du mode de transmission des signaux.

Appareil multiple Meyer. — L'appareil Meyer répond en partie aux *desiderata* que nous venons d'exprimer en n'utilisant pas, en principe, le régime des courants alternés.

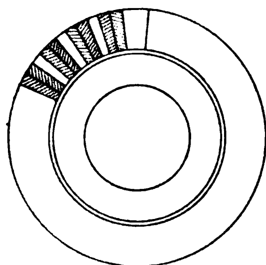
Son *mode de transmission* des signaux Morse est complètement différent de celui du Wheatstone.

Nous ne donnerons pas ici la description complète du distributeur Meyer pas plus que nous n'avons donné celle du transmetteur Wheatstone ; nous n'en exposerons que ce qui se rapporte au nombre et à la durée des émissions pour un travail déterminé dans un temps donné comme nous l'avons fait pour le Wheatstone.

---

[1] Nous envisageons le travail fait par un appareil transmettant sans interruption et non le rendement effectif qui dépend des conditions dans lesquelles s'écoule le travail.

Au point de vue électrique le distributeur est formé de deux cercles ou *couronnes* [1] (fig. 16) concentriques isolées l'une de l'autre et du massif de l'appareil. Chacune d'elles est divisée en un certain nombre de *secteurs* : 2, 3, 4, 5, 6, 7. 8, 9, 10, etc..., suivant que l'on veut former un appareil double, triple..., décuple.


Fig. 16.

Le nombre des secteurs n'est limité théoriquement que par la durée minimum que l'on puisse laisser aux émissions sans diminuer la vitesse normale de rotation du *bras porte-balais* qui parcourt successivement et d'un mouvement régulier tous les secteurs du distributeur.

On comprend qu'une durée déterminée pour les émissions peut être atteinte soit en augmentant le nombre des secteurs avec une vitesse fixée à l'avance, soit en augmentant la vitesse avec un nombre de secteurs également fixé à l'avance.

La formation des deux signes élémentaires, point et trait du code Morse, s'obtient à l'aide de lamelles métalliques ou *plots* ainsi que l'intervalle entre chaque signe ; quant à l'intervalle entre les mots il s'obtient comme au Morse ordinaire en laissant un espace libre se produire entre les mots.

La formation des signaux s'obtient de la manière suivante :

Chacun des secteurs de la couronne extérieure est subdivisé par huit lamelles, groupées deux à deux; chaque groupe est séparé du groupe suivant au moyen d'une lamelle de *séparation*.

Chaque secteur présente ainsi un total de onze lamelles savoir : la première et la deuxième qui forment le premier groupe, la troisième qui constitue l'intervalle ; la quatrième et la cinquième qui forment le deuxième groupe ; la sixième qui constitue l'intervalle ; la septième et la huitième qui forment le troisième groupe ; la neuvième qui constitue l'intervalle enfin la dixième et la onzième qui forment le quatrième et dernier groupe.

Entre deux secteurs consécutifs se trouve une lamelle plus large destinée à les séparer.

En outre, entre le premier et le quatrième secteur se trouve une lamelle qui n'appartient à aucun des secteurs et qui est affectée à la réception ou à la transmission du *courant correcteur*, cette lamelle est précédée et suivie d'une lamelle de séparation.

Pour calculer quelle est la durée d'une émission avec un distributeur ainsi organisé il suffit de savoir quel est le nombre de secteurs et par suite quel est le nombre des lamelles garnissant sa circonférence.

Il faut considérer en outre que toutes les lamelles n'étant pas de même largeur le calcul doit se faire comme si elles étaient toutes égales à la plus petite.

Dans le cas d'un appareil quadruple les valeurs des lamelles sont les suivantes en supposant la circonférence divisée en 500 parties, une des parties étant prise comme unité : Chaque lamelle d'un groupe vaut 7 et le groupe entier 15 à cause de la séparation (trait de scie) entre les lamelles ; la lamelle intervalle entre les groupes vaut 9, la grande lamelle de séparation entre les secteurs vaut 27 et enfin la lamelle de correction 18.

Il s'ensuit que la largeur de la lamelle la plus petite dans un Meyer quadruple est égale

[1] Nous soulignerons les mots nouveaux avec lesquels nous ferons successivement connaissance relativement aux appareils multiples.

à 7/500 de la circonférence ce qui indique que la circonférence, est supposée divisée en un nombre de lamelles égal à 500 : 7.

A la vitesse normale de 90 tours par minute, le nombre de lamelles parcourues par la ligne pendant ce temps est de $500 \times 90 : 7$ soit en une seconde $(500 \times 90) : (7 \times 60) = 107$, ou autrement dit chaque émission a une durée de 1/107 de seconde.

Si on considère que le rendement d'un quadruple est de 4 signaux par tour (1 signal par secteur) c'est-à-dire $4 \times 90 = 360$ signaux par minute formant exactement 60 mots, on reconnaît que le Meyer, quoique n'exigeant que 4 émissions longues ou brèves au maximum par signal soit 20 par mot au lieu de 50 comme au Wheatstone, se trouve dans de moins bonnes conditions que celui-ci puisque pour un même rendement de 60 mots par minute il réduit la durée des émissions Wheatstone de plus moitié : 1/107 de seconde au lieu de 1/50. Cela tient évidemment à cette particularité que M. Meyer différencie les deux signes élémentaires du code Morse non seulement par la *durée* mais aussi par le *moment*, ce qui le contraint à la disposition de ses lamelles comme nous venons de l'exposer, disposition qui attribue aux différentes lamelles d'intervalles, de séparations et de correction plus de la moitié des degrés de la circonférence puisque les 32 lamelles de transmission ou de réception ne représentent que $32 \times 7 = 224$ parties sur les 500 attribuées à la circonférence [1].

Sur un fil ordinaire de 500 km la décharge de la ligne s'obtient au Meyer en reliant ensemble toutes les lamelles de séparations et d'intervalles par un seul fil qui, ensuite, est relié à la terre.

Sur des fils plus longs et plus résistants on pouvait accélérer la décharge à l'aide de courants inversés envoyés par les lamelles d'intervalles que l'on reliait à cet effet aux touches des claviers et dans des conditions déterminées au lieu de les relier à la terre.

La réception des émissions se faisait à l'aide d'un relais spécial d'une grand sensibilité puisque, pour un quadruple seulement il avait à enregistrer des émissions dont la durée la plus courte était de 1/107 de seconde ; mais nous rappellerons à ce sujet qu'un relais Meyer enregistrait couramment 170 émissions à la minute sur une ligne de 500 km.

Quant à l'écart permis pour obtenir la différenciation des signes par le *moment*, nous avons vu précédemment qu'il ne doit pas dépasser la valeur d'un demi-contact c'est-à-dire la moitié de la durée de l'émission soit, dans le cas qui nous occupe, $1/107 : 2 = 1/224$ de seconde.

Nous avons déjà fait remarquer qu'une semblable limite d'écart ne s'oppose pas à la marche régulière des appareils puisque un appareil Baudot quadruple réglé à 165 tours, marche avec une limite d'écarts de 1/264 de seconde et que ce même appareil marche couramment sur certains conducteurs à des vitesses de 180 tours ce qui réduit la limite d'écarts à 1/288 de seconde. On en a même réglé à 200 tours sans que la marche en soit interrompue. Dans ce dernier cas la limite d'écart était de 1/320 de seconde.

M. Meyer ne jugea, croyons-nous, son premier appareil multiple réalisable que parce qu'il avait constaté l'extrême faiblesse des écarts dans son appareil autographique qui précéda son appareil multiple.

Ce n'est évidemment que par suite d'écarts excessivement faibles que la reproduction des autographes était suffisamment exacte pour que la lecture en fût possible.

Mais dans l'état actuel de la télégraphie les conducteurs sont soumis à des influences si énergiques et si fréquentes que les écarts dans le *moment* subissent des variations telles

[1] Nous avons vu que M. Baudot utilise la moitié de chaque plot de réception pour la décharge et que M. Munier obtient une décharge double sans rien prendre aux plots de réception.

*****

que les pantélégraphes Caselli et Meyer seraient d'une pratique difficile sinon impossible sur les réseaux où ils fonctionnaient jadis et que tout appareil rapide basé sur la division du temps doit maintenant pouvoir combattre efficacement ces influences ou s'y soustraire par des dispositifs spéciaux tout en offrant aux courants la *marge de réception* la plus large et en ramenant le conducteur dans un état électrique identique après chaque émission de courant, conditions qui ne sont réalisables que si le *nombre des émissions* et le *nombre des moments* sont simultanément réduits de telle façon que, par suite du peu d'émissions on ait le temps de ramener la ligne à l'état voulu *sans l'emploi de courants inversés* et que, par suite du petit nombre de moments, la marge de réception soit la plus large possible.

De l'examen des deux appareils Meyer et Wheatstone avec lesquels il est fait usage du code VIII (Morse) il résulte que le rendement de ces appareils atteindrait difficilement dans la pratique 80 à 90 mots par minute sur un conducteur de 500 à 600 km, car il serait limité chez l'un par le nombre excessif des émissions restreignant au delà des limites pratiques la durée de propagation du courant et chez l'autre par le même inconvénient auquel viendrait s'ajouter celui des écarts dans le moment,

On pourrait, il est vrai, lutter contre ces inconvéniens par l'emploi de récepteurs d'une très grande sensibilité mais il est à remarquer que sur les conducteurs aériens, soumis aux influences dont nous venons de parler, une très grande sensibilité dans les organes récepteurs au lieu d'être une qualité devient un défaut puisqu'elle expose ces organes aux moindres influences étrangères.

MUNIER.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

ACCUMULATEURS

***Plaques d'accumulateurs,* Léon Champagne.** Brevet anglais n° 1844 du 26 janvier 1899.

Afin d'obtenir des plaques perforées présentant à la surface a' (fig. 1), un diamètre plus petit qu'au milieu a et se coulant d'une seule pièce,

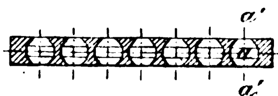


Fig. 1.

Léon Champagne coule le plomb sur des blocs de forme spéciale en matière facilement soluble. Après élimination de celle-ci la plaque présente bien les qualités requises.

Le moule qui sert à cet usage se compose d'une plaque en métal B sur laquelle est fixée par des vis C (fig. 2 et 3) une plaque en cuivre D présentant des perforations E. Au milieu la pièce métallique F est traversée par le canal G

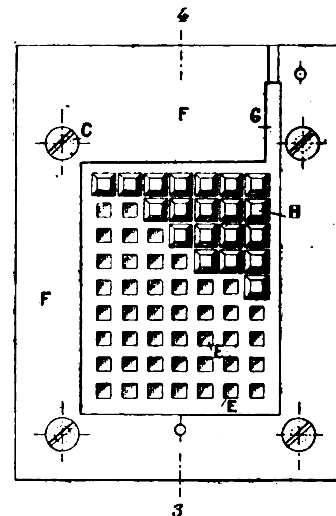


Fig. 2.

qui sert à l'échappement de l'air. Dans chaque ouverture E on vient loger une pièce H en craie

(fig. 4) composée de 3 parties $h\,h'\,h''$, la partie rectangulaire h entrant dans la plaque D.

La plaque de fermeture J du moule est ensuite serrée sur cet ensemble, après interposition d'une feuille d'amiante I.

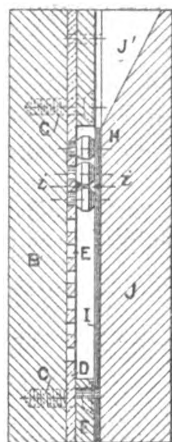


Fig. 3.

La coulée du plomb se fait par l'échancrure J'.

Après refroidissement de la plaque fondue, les pièces H dont la partie h'' du milieu est plus grosse que h' sont éliminées par trempage dans l'acide chlorhydrique étendu. L. J.

Contribution à la théorie de l'accumulateur au plomb, par **Dolezalek**. *Zeitschrift für Elektrochemie*, p. 533-539, 25 mai 1899.

1° *Variation de la force électromotrice avec la concentration pour les solutions étendues.* — Si on appelle T la température absolue, R la constante des gaz, ΔE la différence de force électromotrice de deux accumulateurs remplis d'acide de différente concentration, n le nombre de grammes d'eau contenus dans l'acide par molécule H^2SO^4, p la tension de vapeur d'eau dans l'acide, on a [1] par application des lois de la thermodynamique :

$$\Delta E = \frac{RT}{18}\left(n_2 \log_{nép.} p - n_1 \log_{nép.} p_1 + 18 \log_{nép.} \frac{p_2}{p_1} - \int_{n_1}^{n_2} \log_{nép.} p\,dn\right) \qquad (1)$$

En ne considérant que les solutions étendues, et différant infiniment peu, on peut poser $n_2 = n_1 + dn$ et $p_2 = p_1 + dp$.

[1] *L'Éclairage Électrique*, t. XVII, p. 490, 10 déc. 1898.

Il vient alors

$$\frac{dE}{dn} = \frac{RT}{18}(n+18)\frac{d \log_{nép.} p}{dn}$$

ou encore en remplaçant n par $\frac{1000}{c}$, c étant la teneur normale en molécules par litre

$$\frac{dE}{dc} = 1000\,\frac{RT}{18}\left(\frac{1}{c} + 0{,}018\right)\frac{d \log_{nép.} p}{dc}.$$

Or

$$\frac{d \log_{nép.} p}{dc} = \frac{dp}{p}\cdot\frac{1}{dc}$$

est l'abaissement relatif de la tension de vapeur par l'addition de 1 molécule-gramme SO_4H_2 qui d'après la loi de Raoult-van t'Hoff est indépendante de la concentration et a pour valeur $\frac{\nu}{N}$, la dissociation décomposant l'électrolyte en ν parties, et N étant le nombre de molécules-grammes d'eau contenues dans 1 litre ($N = 55{,}55$).

Par suite

$$\frac{dE}{dc} = \nu\,RT\left(\frac{1}{c} + 0{,}018\right).$$

L'intégration de cette équation, de c_1 à c_2 donne, en remplaçant B par sa valeur et en passant des logarithmes népériens aux logarithmes ordinaires.

$$E_2 - E_1 = 0{,}198.10^{-3}\,\nu T\left(\log \frac{c_2}{c_1} + 0{,}009\,(c_2 - c_1)\right) \quad (2)$$

Comme l'acide sulfurique se décompose en 3 parties par la dissociation, on devrait prendre $\nu = 3$; mais la dissociation n'est pas complète et Loomis a trouvé, par la détermination du point de congélation $\nu = 2{,}2$ pour l'acide normal à 0°C.

D'autre part, des mesures précises ayant donné la valeur 1,896 volt pour la force électromotrice avec l'acide normal, on a pour une concentration quelconque c

$$E_c = 1{,}895 + 0{,}120 \log c + 0{,}001c \qquad (3)$$

Les équations (2) et (3) qui ne sont valables que pour les solutions étendues sont identiques à celles obtenues par la théorie osmotique de Nernst [1].

La théorie de Libenow [2] conduit aussi à un

[1] *L'Éclairage Électrique*, 28 avril 1900, p. 152.
[2] *L'Éclairage Électrique*, 18 février 1899, p. 255.

résultat analogue. Ainsi, si on désigne par C_p la tension de dissolution de l'électrode Pb pour les ions $\overset{++}{Pb}$; par C_o celle de l'électrode PbO^2 pour les ions $\overset{--}{PbO^2}$; et par le symbole chimique entre parenthèses la concentration des ions, on obtient pour la force électromotrice de l'accumulateur

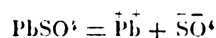
$$E = \frac{RT}{2} \log_{nép.} \frac{C_p \cdot C_o}{[\overset{++}{Pb}] \cdot [\overset{--}{PbO^2}]}.$$

On peut imaginer la formation des ions $\overset{--}{PbO^2}$ par l'union des ions $\overset{++}{Pb}$ avec les ions $\overset{--}{O}$ de l'eau d'après l'équation



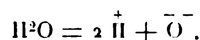
$$\overset{++}{Pb} + 2\,\overset{--}{O} = \overset{--}{PbO^2}.$$

Les ions $\overset{++}{Pb}$ se forment par dissociation du sulfate



$$PbSO^4 = \overset{++}{Pb} + \overset{--}{SO^4}$$

et les ions $\overset{--}{O}$ par dissociation de l'eau



$$H^2O = 2\,\overset{+}{H} + \overset{--}{O}.$$

Comme $PbSO^4$ se présente sous la forme solide, la loi d'action des masses donne pour les trois réactions précédentes

$$\frac{[\overset{++}{Pb}] \cdot [\overset{--}{O}]^2}{[\overset{--}{PbO^2}]} = C^{te} \quad [\overset{++}{Pb}] \cdot [\overset{--}{SO^4}] = C^{te} \quad \frac{[\overset{+}{H}]^2 \cdot [\overset{--}{O}]}{[H^2O]} = C^{te}.$$

Par suite de la très petite solubilité du sulfate de plomb, on a

$$[\overset{--}{SO^4}] = \frac{[\overset{+}{H}]}{2} = c.$$

En désignant de même par c_0 la valeur de $[H^2O]$, on obtient

$$[\overset{++}{Pb}] \cdot [\overset{--}{PbO^2}] = \frac{c_0^2}{c^6} C^{te}$$

et

$$E = \frac{RT}{2} \log_{nép.} \frac{C_p . C_o . c^6}{c_0^2} . C^{te}.$$

Par suite, la différence de force électromotrice de deux accumulateurs renfermant les acides de concentration c_1 et c_2 sera égale à

$$E_2 - E_1 = \frac{RT}{2} \log_{nép.} \frac{c_2^6 \cdot c_{01}^2}{c_1^6 \cdot c_{02}^2}.$$

Comme la masse active c_0 de l'eau est proportionnelle à la tension de vapeur p, on peut remplacer $\frac{c_{01}}{c_{02}}$ par $\frac{p_1}{p_2}$ et

$$\log_{nép.} \frac{p_1}{p_2} \text{ par } \frac{p_2 - p_1}{p_2} = \frac{3(c_2 - c_1)}{N}$$

par suite de la faible diminution de la tension de vapeur relativement à la vapeur absolue de p quand on n'envisage que les solutions étendues.

En substituant cette dernière valeur dans l'équation précédente, on rend celle-ci identique à (2) et (3).

Cette équation (3) fut vérifiée expérimentalement par Dolezalek qui obtint les résultats suivants :

Concentration en molécules-grammes de H^2SO^4 par litre c	Force électromotrice à 0° C. en volts E_c mesurée	calculée
1,000	1,896	1,896
0,360	1,841	1,842
0,180	1,808	1,806
0,111	1,782	1,780
0,0505	1,745	1,740
0,0124	1,672	1,666
0,00046	1,472	1,495

Les différences, qui sont très faibles, atteignent au maximum 1,5 p. 100 pour la dernière détermination par suite d'une dissociation plus avancée de l'acide qui fait qu'on aurait dû prendre ici une valeur de ν plus grande que 2,22.

En appliquant la formule trouvée à des solutions de plus en plus étendues, on remarque aisément que la force électromotrice calculée atteindrait rapidement une valeur nulle puis négative. En pratique on n'observe pas ce fait par suite d'une concentration minima au-dessous de laquelle on ne peut descendre à cause de la dissociation du sulfate de plomb, et dont la limite est justement donnée par la solubilité de ce dernier.

D'après cela on peut déterminer facilement le degré de dissociation hydrolytique du sulfate de plomb.

C'est ce que fait Dolezalek, en mesurant d'abord la force électromotrice d'un accumulateur dont l'électrolyte est une solution de sulfate de plomb pur renouvelée deux fois par jour. Après deux semaines la force électromotrice

atteignait la valeur constante de 1,25 volt à 0°C.

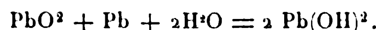
En portant dans l'équation (2) cette valeur ainsi que la valeur trouvée 1,472 volt pour la concentration 0,00046 normale on en déduit pour la valeur c_1 du sulfate de plomb

$$c_1 = 2{,}0.10^{-5} \text{ molécule par litre.}$$

Et comme d'autre part, d'après les mesures de conductibilité de Kohlrausch et Rose [1] et les déterminations analytiques de Frésénius [2] la solubilité du sulfate de plomb est de 41 mgr par litre, ou $1{,}3.10^{-4}$ molécule par litre, le degré de dissociation du sulfate de plomb sera égal à

$$\frac{2.10^{-5}}{1{,}3.10^{-4}} \text{ soit environ 15 p. 100 .}$$

Pour la détermination de la dissociation électrolytique de l'eau pure, on ne peut opérer directement à cause de l'hydrolyse du sulfate de plomb. Dolezalek tourne la difficulté en remplissant l'accumulateur avec une lessive de soude saturée d'oxyde de plomb. Dans ce cas par le fonctionnement de l'élément, s'opère la réaction



$$PbO^2 + Pb + 2H^2O = 2\ Pb(OH)^2.$$

En appelant p_1 et p_2 les tensions de vapeur de deux solutions différentes et en raisonnant comme précédemment on obtient

$$E_2 - E_1 = RT \log_{nép.} \frac{p_2}{p_1} = \frac{2RT}{N}(c_1 - c_2)$$
$$= 0{,}310^{-5}\ T(c_1 - c_2).$$

Il résulte de là qu'avec l'eau pure ($c_2 = 0$) la force électromotrice ne diffère (en plus) que de 1.10^{-4} volt environ de celle obtenue avec une lessive 0,1 normale. Comme avec une telle solution, on obtient expérimentalement la valeur 0,8 volt à 0°C, en portant cette valeur dans l'équation (2), ainsi que la valeur 1,472 volt correspondant à la concentration 0,00046 normale et en faisant $\nu = 3$, on trouve pour la dissociation de l'eau à 0°C.

$$c_1 = 0{,}33.\ 10^{-7} \text{ molécule par litre.}$$

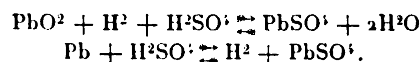
Kohlrausch et Heydweiller [3] ont donné, d'après les mesures de conductibilité la valeur comparable

$$c_1 = 0{,}35.10^{-7}$$

2° *Variation du potentiel de chaque électrode avec la concentration de l'acide.* — Streintz [1] avait déjà déterminé cette variation en employant une électrode supplémentaire en zinc dans un vase poreux rempli d'une solution concentrée de sulfate de zinc.

Dolezalek étudie le cas d'électrodes trempées directement dans l'acide et parmi celles-ci, l'hydrogène et le sulfate mercureux.

En prenant une lame de platine platiné chargée d'hydrogène, on obtient deux éléments galvaniques dont les réactions sont



$$PbO^2 + H^2 + H^2SO^4 \rightleftarrows PbSO^4 + 2H^2O$$
$$Pb + H^2SO^4 \rightleftarrows H^2 + PbSO^4.$$

Comme le sulfate de plomb se présente sous la forme solide, la variation dans l'électrolyte consiste en une absorption de SO^4H^2 dans les deux cas, et en plus, une formation de $2H^2O$ pour l'élément PbO^2. Il en résulte que les variations de force électromotrice avec la concentration doivent seulement différer dans les deux cas de l'énergie de formation de H^2O. Ce que l'on peut écrire, en appelant e la force électromotrice de l'élément H^2-PbO^2 et e' celle de l'élément H^2-Pb

$$\Delta e - \Delta e' = RT \log_{nép.} \frac{p_2}{p_1} = 1{,}98.10^{-4}\ T \log \frac{p_2}{p_1} \qquad (4)$$

Pour la vérification expérimentale de cette formule, Dolezalek emploie le dispositif représenté en figure 1 : Le vase G renferme les deux

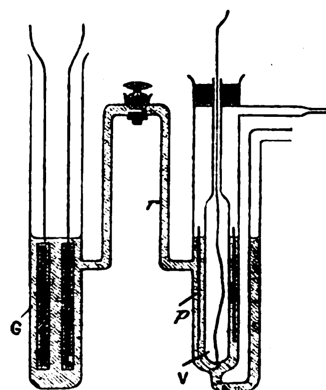


Fig. 1.

(1) *Wied. Ann.*, 50, 135, 1893.
(2) *Lieb. Ann.*, 59, p. 125.
(3) *Wied. Ann.*, 53, p. 209, 1894.

(1) *Wied. Ann.*, 49, 1893.

plaques de l'accumulateur ; il communique par un long tube *r* avec l'électrode *p* en platine platiné ; *v* est un cylindre plongeur en verre dont le but est de diminuer le volume de l'acide et par suite de faciliter l'absorption de l'hydrogène qui est très longue sans cette précaution. Pour éviter les erreurs dues à la diffusion de l'hydrogène, le robinet du tube *r* n'est ouvert que pendant le court instant des mesures.

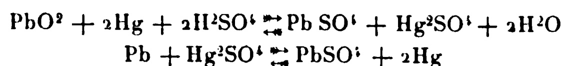
Dans le tableau suivant qui donne les résultats obtenus, les valeurs de Δe furent calculées d'après les valeurs mesurées de $\Delta e'$ et p, et les valeurs $\Delta e'$ d'après les mesures de Δe et p. Les différences ainsi obtenues étaient ajoutées à la valeur du n° III prise comme base.

N°	Densité de l'acide à 15° C.	H^2SO^4 p. 100	Tension de vapeur p à 0° C en mm. Hg.	Force électromotrice, en volts à 0° C.			
				$PbO^2 — H^2$		Pb — H^2	
				mesurée	calculée	mesurée	calculée
I	1,033	4,86	4,55	1,610	1,604	0,269	0,275
II	1,064	9,33	4,45	1,617	1,617	0,282	0,282
III	1,141	19,76	4,02	1,654	(1,654)	0,317	(0,317)
IV	1 192	26,36	3,68	1,682	1,678	0,339	0,343
V	1,428	52,93	1,24	1,801	1,791	0,426	0,436

Les valeurs de p étaient empruntées aux mesures de Dieterici (¹).

Dans le calcul des forces électromotrices, les erreurs possibles pouvaient atteindre 0,006 volt ; on voit par le tableau que les différences entre les valeurs observées et calculées ne dépassent pas cette limite.

Par l'emploi de l'électrode mercure-sulfate mercureux, les réactions deviennent



$$PbO^2 + 2Hg + 2H^2SO^4 \rightleftarrows PbSO^4 + Hg^2SO^4 + 2H^2O$$
$$Pb + Hg^2SO^4 \rightleftarrows PbSO^4 + 2Hg$$

Comme le sulfate mercureux et le sulfate de plomb se présentent sous la forme solide, il n'y a pas variation de l'électrolyte pour l'élément Pb-Hg ; par suite sa force électromotrice doit être indépendante de la concentration. Seule variera celle du couple PbO^2-Hg. Les mesures exprimées ci-dessous montrent bien l'exactitude de cette théorie.

(¹) *Wied. Ann.*, 50, p. 47, 1893.

H^2SO^4 p. 100	Force électromotrice, en volts, à 0° C. PbO^2 - Hg	Pb - Hg.
6,5	0,93	0,96
10,2	0,95	0,96
16,4	0,99	0,956

Les mesures ci-dessus avec l'électrode hydrogène permettent quelques conclusions sur la vitesse de décharge locale de l'accumulateur. La moindre impureté conductrice sur chacune des électrodes crée un couple local, et sur cette impureté se dégage soit H soit O qui agissent comme électrodes.

On a vu plus haut l'augmentation rapide avec la concentration du couple Pb-H. Celle du couple PbO^2-O s'obtiendra en retranchant des valeurs e du tableau ci-dessus la valeur 1,06 volt correspondant à la force électromotrice de la chaîne hydrogène-oxygène. Ces valeurs sont les suivantes :

H^2SO^4 p. 100	4,86	9,33	19,76	26,36	52,93
Force électromotrice en volts, du couple PbO^2 - O	0,55	0,56	0,59	0,62	0,72

Et ainsi s'explique la vitesse plus grande de décharge locale de l'accumulateur pour les fortes concentrations d'acide. L. Jumau.

TRACTION ÉLECTRIQUE

Le chemin de fer électrique de Burgdorf à Thun, par **E. Thomann**. *Schweizerische Bauzeitung*, 28 avril 1900.

M. E. Thomann donne les résultats des essais effectués sur le chemin de fer de Burgdorf à Thun, et cet article constitue la conclusion de son étude si documentée et qui a été analysée complètement dans ce journal (¹).

Résultats d'essais. — Les mesures n'ont pas été faites avec des enregistreurs : les courbes reproduites ici ont été relevées par points.

Le diagramme n° 1 indique les relations entre la vitesse, le courant, la tension et les watts apparents (volts-ampères), pour le trajet d'un train de 55 t., entre Walkringen et Konolfingen.

(¹) *L'Écl. Élect.*, t. XXIII, p. 210. Nous prions le lecteur de rectifier une erreur de chiffre à la page 214 : les transformateurs des sous-stations sont de 150 kws et non de 350.

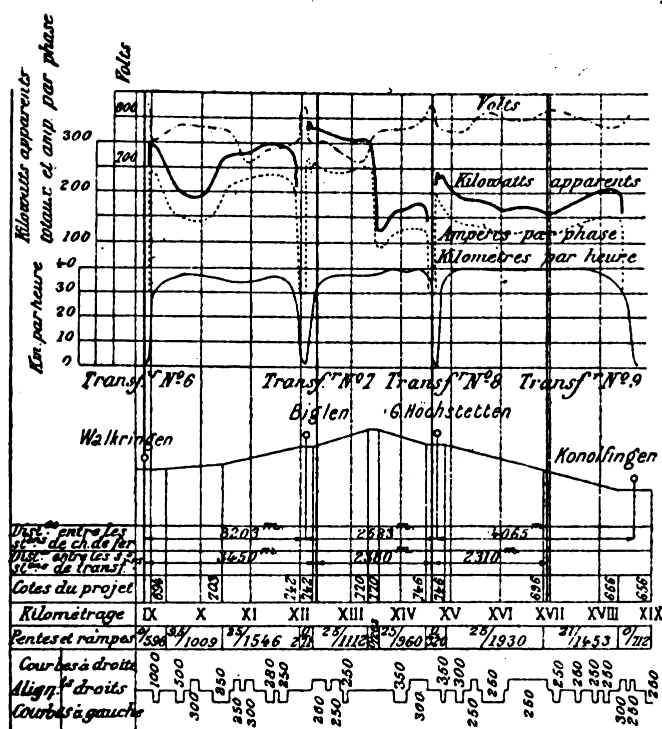
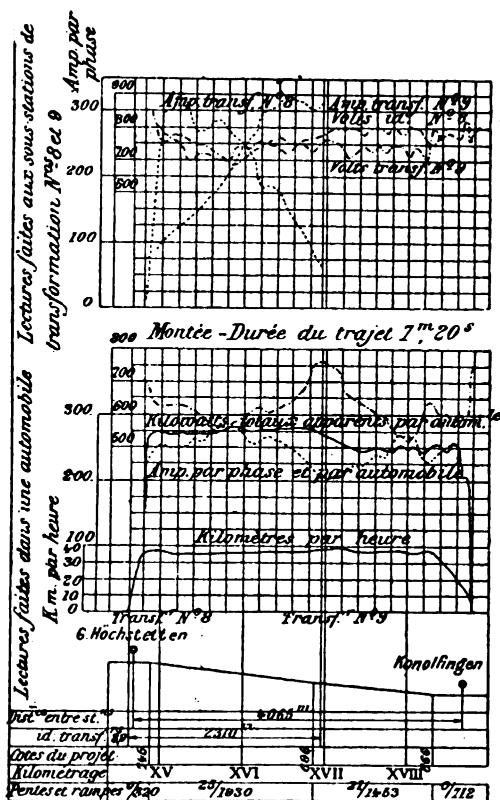


Fig. 1.

Cet essai, de même que les autres, a été effectué pendant le service normal, les quelques irrégularités des courbes proviennent de l'influence des canalisations, des transformateurs et de la station centrale par suite de la marche sur la voie d'autres trains que le train en expérience.

Pendant l'essai, on fit, à l'usine génératrice les réglages à la main : ceci explique les oscillations très sensibles de la vitesse et de la tension, qui correspondent aux variations de vitesse des turbines.

La courbe de vitesse de ce premier diagramme dénonce une augmentation d'environ 5 p. 100 dans la vitesse lorsque le train a passé d'une rampe de 2,5 p. 100 à une pente de même valeur. — On doit se souvenir que dans l'un et l'autre cas, rien n'est changé dans le couplage des moteurs, et qu'on ne fait pas usage du frein. Les courbes du courant et des watts apparents montrent nettement la transition de la consom-



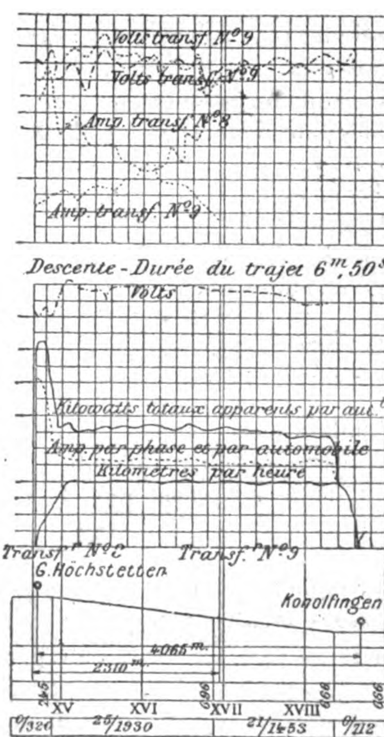


Fig. 2.

celles que Grœtz a pu réaliser avec les rayons de Rœntgen. Grœtz dispose des équipages très légers, portés par une pointe d'aiguille, entre les armatures d'un condensateur chargé. Dans ce champ constant, les équipages restent en repos; mais ils entrent en rotation quand on fait arriver dans le champ des rayons de Rœntgen et la rotation dure tant qu'on fait agir les rayons. Le sens de cette rotation est indéterminé et dépend des conditions initiales.

Le phénomène paraît être de même nature que les rotations dans les diélectriques étudiées par Quincke [1] et expliquées par Heydweiller [2].

La théorie de Heydweiller s'y applique aussi, en admettant que l'air rendu conducteur par les rayons de Rœntgen se comporte comme les liquides dans les expériences de Quincke.

Avec des condensateurs de petite dimension et avec un équipage mobile formé de deux disques de cuivre verticaux réunis par une traverse isolante, le sens de la rotation change avec celui du champ. La position du tube de Crookes influe aussi sur le sens de la rotation, le sens est toujours celui qui va de l'armature positive à l'armature négative par le tube de Crookes; cette règle s'explique en admettant que la rotation est due à la charge négative qui recouvre la paroi du tube de Crookes.

Les deux armatures du condensateur ne sont pas indispensables; on peut remplacer l'une d'elles par une petite boule ou même les supprimer et mettre simplement l'équipage mobile dans l'air au voisinage du tube de Crookes.

Les rotations ne sont pas l'effet direct des rayons Rœntgen, car elles cessent quand on interpose entre l'équipage et le tube une lame d'ébonite ou une lame d'aluminium que traversent pourtant les rayons. M. L.

(1) *Écl. Élect.*, t. XI, p. 225. — Grœtz, *Ibid.*, t. XXIII, p. 268.
(2) *Écl. Élect.*, t. XXIII, p. 385.

Production de rayons Rœntgen par les courants continus, par **J. Trowbridge**. *American Journal of Science*, juin 1900. Résumé dans *Electrician*, t. XLV, p. 280, 15 juin 1900.

L'auteur ayant récemment complété l'installation d'une batterie d'accumulateurs de 20 000 éléments, a essayé avec succès de produire des rayons X en faisant passer le courant continu produit par cette batterie dans un tube à vide.

Le tube est placé en série avec une résistance d'environ 4 mégohms, sur le circuit de la batterie. Tout d'abord le courant ne passe pas à cause de la résistance considérable du tube. Mais si l'on chauffe celui-ci avec un brûleur Bunsen, il s'illumine soudainement et donne un flux très intense de rayons Rœntgen fortement pénétrants. Ce flux peut être maintenu pendant longtemps dans les mêmes conditions et reproduit facilement dans ces mêmes conditions en réglant convenablement l'intensité du courant traversant le tube et la valeur de la différence de potentiel entre les électrodes de ce tube.

Le principe actif de l'uranium, par **W. Crookes**. Communication faite à la séance du 10 mai de la Royal Society de Londres. Résumé dans *Electrician*, t. XLV, p. 280, 15 juin 1900.

Après une longue série de recherches sur les différents minéraux qui renferment de l'uranium, Sir W. Crookes est parvenu, par un traitement au carbonate d'ammonium à obtenir un corps environ trois cents fois plus actif que l'uranium. Ce corps peut être séparé du polonium au moyen de l'acide sulfhydrique qui, en solution acide, précipite le polonium et laisse en dissolution l'autre substance active. Cette dernière substance est peut-être du radium, mais jusqu'ici M. Crookes n'a pu parvenir à l'identifier avec ce corps.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

ACADÉMIE DES SCIENCES

Séance du 7 mai 1900 (1).

Pendule à restitution électrique constante, par **Ch. Féry**. *Comptes rendus*, t. CXXX, p. 1248-1250.

Ce pendule est combiné de façon à se rapprocher autant que possible du pendule libre. Parmi les conditions à remplir, dont quelques-unes ont été indiquées antérieurement par M. Lippmann, se trouve la suivante :

La quantité d'énergie restituée à chaque oscillation doit être constante et indépendante de l'état de la pile qui est généralement employée comme source d'électricité.

Pour satisfaire à cette condition, le pendule est actionné par une sorte de transformateur donnant des courants induits transportant une quantité d'électricité indépendante de la pile et réglable à volonté. Ce transformateur se compose de deux aimants A_1 et A_2 (fig. 1) munis

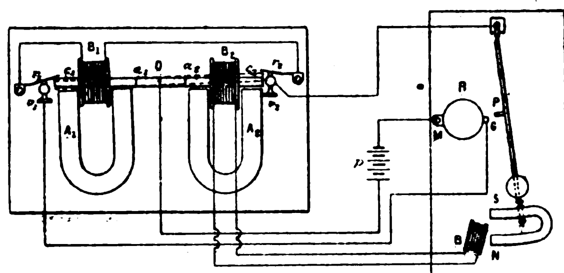


Fig. 1. — Pendule Féry.

chacun d'une armature a_1c_1, a_2c_2 réunies solidairement et constituant une palette pivotant en O. Cette palette, mobile dans l'axe des deux bobines fixes B_1 et B_2, donne naissance par son déplacement à des courants induits qui servent à actionner le pendule. L'une des bobines B_1 est motrice ; elle reçoit, ainsi que l'indique le montage, les courants alternativement renversés de la pile p et produit ainsi un mouvement alternatif de la palette. La seconde bobine B_2, qui constitue le secondaire de ce transformateur, est parcourue également par des courants alternés produisant à chaque oscillation une quantité constante d'électricité qui est envoyée au pendule quand il passe par la verticale. L'impulsion brusque qui entretient le mouvement est donc due à la réaction de l'aimant NS fixé au pendule, sur la bobine fixe B recevant les courants du transformateur restituteur.

Le calcul montre, et l'expérience vérifie, que pour obtenir le maximum d'amplitude avec un restituteur donné, il faut rendre égal à celui de l'air et de la suspension l'amortissement magnétique que le pendule éprouve par l'oscillation de l'aimant NS dans la bobine B.

En étudiant l'influence du ressort circulaire R amenant le courant à l'appareil, M. Féry a trouvé qu'il était possible de lui donner un réglage tel que le pendule, qui avance normalement aux petits arcs et retarde aux grands, ait le retard maximum pour une amplitude moyenne.

A ce moment du retard maximum, l'erreur due à une petite variation d'amplitude sera très faible ; le pendule peut être rendu ainsi isochrone pour des arcs assez grands, ce qui augmente sa puissance réglante.

(1) Pour les autres communications relatives à l'électricité faites à cette séance, voir *L'Éclairage Électrique* du 19 mai, p. 274.

Séance du 11 juin (suite).

Les modifications permanentes des fils métalliques et la variation de leur résistance électrique, par **H. Chevallier**. *Comptes rendus*, t. CXXX, p. 1612-1614.

L'auteur a montré, dans une précédente communication (1), que la résistance électrique d'un alliage de platine et d'argent variait beaucoup avec son état de trempe et de circuit.

Si l'on soumet un fil de cet alliage à un certain nombre de perturbations à la température T_2, alternant avec des séries d'oscillations entre deux températures plus basses T_0 et T_1, qui seront toujours les mêmes ($T_0 = 15°$ et $T_1 = 150°$) sa résistance mesurée à la température T_0 tend vers une limite appelée *limite des limites* relative à la température T_2.

Cette limite des limites R_l subit de très grands déplacements lorsque la température T_2 varie jusqu'à la température du rouge vif et les varia-

(1) *Écl. Élect.*, t. XXII, p. 153, 27 janvier 1900.

tions de R_l affectent une forme caractéristique, qui n'est pas tout à fait la même pour les fils trempés et pour les fils recuits.

L'étude de ces déplacements de la limite des limites fait l'objet du présent travail [1].

[1] En voici les résultats :

« *Fil trempé. La température* T_2 *va en croissant.* — Le fil, chauffé à 700° pendant environ dix minutes, est refroidi dans l'air. Son diamètre étant très faible ($d = 0,64$ mm) le refroidissement est très rapide ; le fil est trempé.

» Sa résistance initiale, à 15°, est : $R_{15} = 1^{\omega},00720$.

» Si l'on cherche les valeurs de R_l correspondant à des valeurs croissantes de T_2 à partir d'une température peu élevée, $T_2 = 180°$ par exemple, on trouve que R_l passe par un maximum vers 320°, par un minimum vers 475°, puis augmente régulièrement jusqu'à 700°.

» Voici quelques-uns des chiffres obtenus :

$T_2 = 180°$	$R_l = 1^{\omega},00690$
$T_2 = 320°$	$R_l = 1^{\omega},00901$
$T_2 = 475°$	$R_l = 1^{\omega},00271$
$T_2 = 700°$	$R_l = 1^{\omega},00720$

» A 700°, le fil trempé est régénéré ; sa résistance électrique a la même valeur qu'au début.

» En effectuant à nouveau la même série d'opérations, on retrouve exactement les mêmes résultats. La limite des limites passe toujours par le même maximum à 320° et par le même minimum à 475°.

» Si l'on traduit ces résultats par une courbe en prenant les R_l comme ordonnées et les T_2 comme abscisses, on obtient une ligne dont le maximum et le minimum sont très marqués.

II. *Fil trempé. La température* T_2 *va en décroissant.* — Si, partant du fil trempé à 700°, on cherche les valeurs de R_l correspondant à des températures T_2 de moins en moins élevées, on obtient les résultats suivants :

$T_2 = 460°$	$R_l = 1^{\omega},00161$
$T_2 = 320°$	$R_l = 1^{\omega},00360$
$T_2 = 200°$	$R_l = 1^{\omega},00340$

» A mesure que T_2 décroît, R_l passe successivement par un minimum vers 460°, par un maximum vers 320°, puis décroît jusqu'à 200°. Dans ce cas la courbe des R_l est analogue à la précédente ; ells est toutefois plus aplatie et située tout entière au-dessous de celle-ci.

» Il est à remarquer que cette série de perturbations décroissantes a eu pour effet de recuire le fil.

» III. *Fil recuit. La température* T_2 *va en croissant.* — Si l'on fait alors croître T_2 depuis 200° jusqu'à 700°, la limite des limites R_l passe par les valeurs suivantes :

$T_2 = 320°$	$R_l = 1^{\omega},00378$
$T_2 = 460°$	$R_l = 1^{\omega},00103$
$T_2 = 700°$	$R_l = 1^{\omega},00720$

» La courbe de ces résultats indique encore un maximum vers 320° et un minimum vers 460°.

» Cette ligne diffère peu de la précédente. D'abord située au-dessus d'elle, elle la coupe, passe au-dessous et vient de nouveau la rencontrer à 700°.

Les trois ligne obtenues en portant les T_2 en abscisses et les R_l en ordonnées ont toutes la même allure ; elles présentent toutes trois un maximum vers 320°-330° et un minimum vers 460°-475°. Aucune d'elles n'est réversible. Si l'on essaie, après avoir parcouru une partie de l'une d'elles, de revenir en arrière, la *ligne de retour* ne se superpose pas à la *ligne d'aller*.

Dans la zone I (au-dessous de 320°), la ligne de retour est au-dessus de la ligne d'aller. En effectuant une série de perturbations alternativement croissantes et décroissantes, l'élévation de R devient de plus en plus faible.

Dans la zone II (comprise entre 320° et 460°), la ligne de retour est au-dessous de la ligne d'aller.

Si l'on continue à faire décroître T_2, on retombe dans la zone I en passant par un maximum qui correspond encore à 320° :

$T_2 = 320°$	$R_l = 1^{\omega},00378$
$T_2 = 390°$	$R_l = 1^{\omega},00180$
$T_2 = 320°$	$R_l = 1^{\omega},00310$
$T_2 = 200°$	$R_l = 1^{\omega},00300$

Dans la zone III (comprise entre 460° et 700°), la ligne de retour est légèrement au-dessous de la ligne d'aller.

Lorsqu'on opère sur un fil recuit, l'abaissement est à peine sensible.

Dans cette zone, les fils présentent très peu d'hystérésis.

Sur les rayons cathodiques, par P. Villard.

Comptes rendus, t. CXXX, p. 1614-1619.

M. Villard a montré dans un travail antérieur [1] qu'aux points où une cathode émet des rayons cathodiques, il se produit un dégagement de chaleur considérable, résultant de l'arrivée d'un afflux de matière qui alimente l'émission cathodique ou forme les rayons de Goldstein si la cathode est perforée. Quelle que soit d'ailleurs l'interprétation adoptée, il est certain que l'échauffement de la cathode, échauffement qui peut atteindre l'incandescence, est connexe à la formation des rayons cathodiques : il suffit, pour s'en convaincre, de faire l'expérience avec une cathode très mince, en platine, et à une pression assez basse pour que le faisceau cathodique parte d'une région restreinte (ordinairement

[1] *Comptes rendus*, t. CXXVI, p. 1339, 1898 ; *Éclair. Électr.*, t. XV, p. 346, 21 mai 1898.

centrale) de l'électrode. Mais l'élévation de température dont il s'agit ne se produit pas seulement au vide de Crookes : on peut l'observer à toutes les pressions. L'expérience est particulièrement nette si l'on prend comme électrodes les filaments de deux lampes à incandescence que l'on a soudées sur un raccord en verre. Chacun des filaments étant relié à l'un des pôles d'une forte bobine de Ruhmkorff ou d'un transformateur, et les choses étant disposées de telle sorte que le courant ne passe que dans un seul sens, on obtient l'incandescence du filament cathode pour des pressions variant depuis celle qui donne la fluorescence de l'ampoule négative jusque vers 1 mm de mercure [1] le filament anode reste au contraire complètement obscur; le dégagement de chaleur y est en effet insensible. Dans cette expérience on peut aisément vérifier que l'élévation de température est maxima aux points où le filament doit émettre plus abondamment des rayons cathodiques, par exemple, par suite de l'éloignement plus grand des parois. Pour une source électrique donnée, l'intensité du phénomène varie avec la pression, c'est-à-dire avec la résistance de l'appareil : c'est, si l'on veut, l'analogue de ce qui se passe quand on relie les pôles d'une pile par un conducteur dont on fait varier la résistance : pour une certaine valeur de cette résistance la puissance dépensée dans le conducteur est maxima, et, par suite, la quantité de chaleur dégagée.

Pour les pressions supérieures à 1 mm de mercure, il est préférable de prendre comme électrodes des fils métalliques fins, et l'on peut continuer ainsi les observations jusqu'à la pression atmosphérique. Il convient seulement de régler la distance explosive de manière à donner au courant une intensité suffisante. Comme précédemment, on doit éviter avec soin de laisser passer le courant inverse [2].

Suivant M. Villard, il est naturel d'admettre que le phénomène dont il s'agit est, à toutes les pressions, toujours produit par la même cause et qu'il résulte de la formation de rayons cathodiques dont l'énergie spécifique serait toutefois très faible aux pressions élevées. Cette manière de voir est d'accord avec le fait qu'à toute pression la gaine violette est visible à la cathode; elle se relie naturellement aux considérations que M. Villard a précédemment développées sur la formation de l'ozone [1].

La chute de potentiel nécessaire pour porter à l'incandescence un conducteur, un filament de lampe par exemple, par *effet cathodique*, doit être beaucoup plus grande que si le filament est rendu incandescent à la manière ordinaire, c'est-à-dire par effet Joule. Comme on doit s'y attendre, l'intensité (efficace) du courant est, par suite, beaucoup moindre; c'est ainsi qu'un courant de 5 millièmes d'ampère suffit pour porter au rouge cerise le filament d'une lampe de 50 volts (10 bougies). Il faudrait un courant soixante fois plus intense pour obtenir le même résultat par effet Joule, mais la chute de potentiel ne serait que de 30 volts environ. Il est fort probable que, dans les expériences de M. Tesla, l'incandescence des lampes à un seul filament se produisait par effet cathodique : avec la fréquence employée la capacité électrique de l'ampoule suffisait pour que le courant puisse acquérir l'intensité nécessaire sans l'emploi d'une anode. Cette interprétation se concilie d'ailleurs parfaitement avec celle que donnait l'auteur de ces expériences.

Sur l'impossibilité de la formation primaire du chlorure de potassium obtenu par voie électrolytique, par **André Brochet,** *Comptes rendus*, t. CXXX, p. 1624-1627.

MM. Haber et Grinberg [2] ont admis que les

[1] Il faut éviter de pousser le vide très loin parce que le champ électrostatique dans l'ampoule négative devient assez intense pour briser le filament. On doit également éviter de se servir d'un interrupteur ayant à peu près la période vibratoire du filament. Le dispositif qui m'a donné les meilleurs résultats consistait à employer une bobine d'induction de 25 cm d'étincelle alimentée par un courant alternatif de 80 périodes, et munie du redresseur que j'ai décrit antérieurement, ce qui permet d'utiliser les deux alternances. Dans ces conditions une lampe de 20 bougies est aisément portée au blanc.

[2] L'élévation considérable de température qui se produit à l'électrode négative, à la pression ordinaire, a été observée par divers auteurs peu de temps après l'invention de la bobine de Ruhmkorff. (Quet, *Comptes rendus*, t. XXXVI, p. 1015, 1853. — Despretz, *Comptes rendus*, t. XXXVII, p. 371, 1853. — Fernet, *Comptes rendus*, t. LIX, p. 1006, 1864). — Plus récemment, MM. Naccari et Guglielmo ont étudié ce phénomène à diverses pressions (*Il Nuovo cimento*, t. XI, p. 28, 1882; t. XV, p. 272; t. XVII, p. 1, 1885. — *Journal de Physique*, 2e série, t. II, p. 521 ; t. V, p. 574).

[1] *Écl. Élect.*, t. XXII, p. 155, 27 janvier 1900.

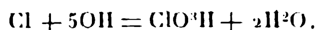
[2] Haber et Grinberg. *Zeitsch. anorg. Chem.*, t. XVI, p. 198, 329 et 438.

hypochlorite et chlorate obtenus par l'électrolyse d'un chlorure alcalin étaient toujours formés par réaction primaire par décharge des ions Cl et OH d'après les équations



$$Cl + OH = ClOH$$

et



$$Cl + 5OH = ClO^3H + 2H^2O.$$

Wohlwill [1], Fœrster, Jorre et Müller [2] ont établi par des essais d'ordre varié qu'il n'en était rien en ce qui concerne les hypochlorites et que les ions Cl formés à l'anode passent à l'état moléculaire. Le chlore ainsi obtenu réagit sur l'alcali de la cathode par voie purement chimique.

En ce qui concerne le chlorate, Wohlwill, Lorenz et Wehrlin [3] admettent qu'il provient de la décharge des ions ClO et OH. Fœrster, Jorre et Müller, après avoir établi qu'en milieu neutre l'hypochlorite donne du chlorate par voie purement chimique sous l'influence de l'acide hypochloreux formé à l'anode pensent que le processus est tout à fait différent en milieu alcalin et reprenant l'hypothèse d'Œttel [4] admettent que dans ces conditions le chlorate est formé uniquement par réaction primaire.

Dans quelques travaux précédemment publiés [5] M. Brochet a démontré, comme les auteurs précédents, que le chlorate de potassium électrolytique provient évidemment, en milieu neutre ou légèrement alcalin, de l'hypochlorite existant en solution et se basant sur des expériences précédentes suffisamment nettes, mais encore incomplètes, il émettait l'opinion que, en milieu alcalin, le chlorate provient également de l'hypochlorite. C'est sur cette question qu'il revient.

Si dans une cuve électrolytique on introduit de l'oxyde de cobalt, l'hypochlorite formé sera détruit avec dégagement d'oxygène; il n'y aura donc pas de chlorate secondaire et seul le chlorate obtenu par action primaire subsistera. Les chlorates, en effet, ne sont pas décomposés en présence d'oxyde de cobalt, tandis que l'action sur les hypochlorites, lente à froid, est très rapide vers 60°-70°.

Ce procédé d'investigation présente toutefois un inconvénient : l'oxyde de cobalt, assez dense, tombant rapidement au fond du vase, son action diminue considérablement de ce fait. Finalement en employant une forte dose d'oxyde l'auteur en est arrivé à de bons résultats et il est parvenu à montrer que même en milieu alcalin le chlorate provient uniquement de l'hypochlorite [1].

(1) Wohlwill. *Zeitsch. Elektrochem.*, t. V, p. 52.

(2) Fœrster, Jorre et Muller. *Zeitsch. Elektrochem.*, t. VI, p. 74.

(3) Lorenz et Wehrlin. *Zeitsch. Elektrochem.*, t. VI, p. 309, 408, 419, 437, 445 et 461.

(4) Œttel. *Zeitsch. Elektrochem.*, t. V, p. 1.

(5) Brochet. *Comptes rendus*, t. CXXXI, p. 134 et 718). — *Écl. Élect.*, t. XXII, p. 159 et 477.

(1) Voici comment M. Brochet a opéré :

« Je me suis servi de l'appareil décrit précédemment (*loc. cit.*) en remplaçant le bocal par un verre de Bohême forme haute de 150 cc dans lequel les électrodes plongeaient jusqu'au fond. Cet électrolyseur était placé dans un bain-marie réglé à 70° ; il était monté en tension avec un voltamètre à gaz tonnant et les appareils de réglage et de mesures nécessaires.

» J'opérai dans les mêmes conditions que précédemment avec une intensité de 2 ampères, soit :

$$D_a = D_c = 0{,}045 \text{ amp. par centimètre carré ;}$$

» 1° Solution contenant, pour 125 cc, 20 gr de chlorure de potassium et 4 gr de potasse caustique. Dans ces conditions d'alcalinité l'appareil se trouve rapidement en marche normale ; en effet, la quantité d'hypochlorite que l'on peut constater est très faible, le degré chlorométrique étant inférieur à 0°,1.

» La quantité d'électricité fournie à l'électrolyseur se répartit de la façon suivante pour chaque électrode :

Oxygène dégagé	45	p. 100
Hydrogène dégagé. . . .	93	»
Oxygène absorbé (oxydation)	55	»
Hydrogène absorbé (réduction)	7	»
Oxydation effective . . .	48	» (55-7)

» L'opération a duré une heure, le dosage du chlorate a donné 0,730 gr au lieu de 1,52 gr demandé par la théorie pour 2 ampères-heure, soit un rendement de 48 p. 100.

» J'ai ajouté alors à la solution 1 gr de chlorure de cobalt cristallisé, dissous préalablement dans un peu d'eau ; cette addition a été faite en battant énergiquement pour bien diviser l'oxyde formé.

» En électrolysant à nouveau on obtient alors, pour 100 cc de gaz au voltamètre, 99 ou 99,5 à l'électrolyseur : c'est donc du gaz tonnant à peu près pur, l'oxydation représente alors 1 ou 2 p. 100, la réduction est nulle (naturellement).

Aussi conclut-il ainsi :

« Les essais précédents montrent donc d'une façon absolument nette et irréfutable que *dans l'électrolyse des chlorures alcalins*, contrairement aux hypothèses d'Œttel, Haber et Grinberg, Fœrster, Jorre et Müller... la *formation du chlorate n'est jamais due à une action primaire, mais se fait toujours par l'intermédiaire des hypochlorites*, même en milieu très alcalin et lorsque l'hypochlorite ne peut être décelé. »

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE

Séance du 15 juin 1900.

Appareil représentant mécaniquement les phénomènes présentés par les condensateurs, par **Vasilesco Karpen**.

L'auteur présente à la Société un petit appareil qui réalise la conception suivant laquelle le diélectrique serait un milieu élastique, les conducteurs détruisant, là où ils se trouvent, la cohésion de ce milieu et permettant aux forces électromotrices d'avoir prise sur lui.

Chacune des armatures est figurée par un ensemble de deux roues folles sur un axe et engrenant à leur périphérie avec un pignon dont la rotation figure le *courant* de charge.

Le *diélectrique* est figuré par des ressorts fixés d'un côté à l'axe, de l'autre à la périphérie des roues; les ressorts compris entre les armatures étant beaucoup moins raides que les ressorts figurant le diélectrique extérieur.

Le *potentiel* de chaque armature, ainsi que le *potentiel* de charge, est représenté par le couple de torsion du pignon correspondant; l'angle dont tourne ce pignon figure la *charge totale* de l'armature; l'angle dont tourne une roue, la *charge d'une face*.

Ces *charges* seront *positives* ou *négatives*, selon que la rotation se fait dans un sens ou dans l'autre.

On *isole* ou l'on *met à la terre* une armature, en calant son pignon ou en le laissant, au contraire, libre de tourner.

Des aiguilles se mouvant devant des divisions montrent à chaque instant la charge des faces.

L'appareil reproduit fidèlement le déplacement des charges qui ont lieu pendant le fonctionnement des condensateurs, notamment la charge et la décharge successives. Il permet de concevoir la cause des attractions et répulsions entre les armatures.

La valeur de l'énergie accumulée a la même forme que celle de l'énergie accumulée dans les condensateurs.

La décharge disruptive, la décharge lente à travers le diélectrique ainsi que la charge rémanente, trouvent leurs analogues dans l'image mécanique.

Enfin, si le moment d'inertie des pièces en mouvement, figurant la *self-induction*, est grand relativement aux frictions figurant les *résistances*, la décharge de l'appareil prendra la forme oscillatoire.

SOCIÉTÉ DE PHYSIQUE DE LONDRES

Séance du 25 mai 1900.

Sur la détermination des valeurs exactes des résistances étalons, par **R.-T. Glazebrook**.

Pour obtenir la valeur exacte de résistances multiples d'une résistance étalon telle que 1 ohm, l'auteur a employé trois méthodes :

La première consiste à construire aussi exactement que possible trois bobines ayant chacune une résistance triple de celle de la bobine étalon et à en déterminer la valeur au moyen de la

---

» L'expérience est donc bien convaincante.

» Si on laisse déposer l'oxyde de cobalt, l'oxydation s'élève peu à peu et peut atteindre à 20 p. 100, la réduction se fait alors légèrement sentir, mais il suffit d'agiter, pour avoir à nouveau les résultats précédents.

» J'ai laissé marcher l'essai pendant trois heures et demie, l'augmentation de chlorate fut seulement de 0,09 gr au lieu de 5,35 gr demandés par la théorie pour 7 ampères-heure; la quantité obtenue est donc insignifiante.

» 2° Un autre essai fut fait dans les mêmes conditions, en ajoutant au liquide 8 gr de potasse au lieu de 4 gr.

» Avec cette teneur on ne peut déceler la présence de l'hypochlorite. La quantité d'électricité fournie à l'électrolyseur se répartit de la façon suivante :

Oxygène dégagé	65	p. 100	
Oxygène absorbé (oxydation)	35	»	
Hydrogène dégagé	95	»	
Hydrogène absorbé (réduction)	5	»	
Oxydation effective	30	»	(35-5)

» En ajoutant comme dans le cas précédent 1 gr de chlorure de cobalt la réduction tombe à zéro et l'oxydation à 1 ou 2 p. 100. »

méthode de Carey Foster en disposant ces trois bobines en parallèle. La résistance de l'ensemble étant égale au tiers de la résistance de chaque bobine, c'est-à-dire de 1 ohm environ, la comparaison avec la bobine étalon peut se faire avec une grande exactitude. On dispose ensuite les trois bobines en série et on y ajoute la bobine étalon ; on a ainsi une résistance d'environ 10 ohms permettant de construire une bobine de 10 ohms qui servira de nouvel étalon. On en construit trois semblables et celles-ci permettent d'obtenir une bobine de 100 ohms, et ainsi de suite.

La seconde méthode a pour objet la détermination de la valeur exacte des résistances des bobines d'une boîte de résistances. Les bobines de 1 ohm de cette boîte sont comparées directement avec l'étalon. Elles sont ensuite comparées avec les bobines d'une boîte de résistance auxiliaire. Cette boîte sert ensuite à la détermination de la valeur des résistances des bobines de la première.

Mais il peut arriver que dans la comparaison des bobines de chaque boîte ayant même valeur nominale, le fil de compensation ne soit pas assez long pour compenser l'excès de résistance de l'une des bobines sur l'autre. L'auteur emploie alors un troisième procédé qui demande la détermination exacte de la résistance de chaque branche du pont ; l'une de ces branches est ensuite shuntée avec une résistance qui n'a pas besoin d'être connue avec une aussi grande exactitude.

Dans la construction des bobines, M. Glazebrook emploie l'alliage platine-argent.

Séance du 8 juin 1900.

Sur les propriétés magnétiques des alliages de fer et d'aluminium, par **S.-W. Richardson** et **L. Lownds.**

Dans cette communication les auteurs font connaître les résultats de leurs recherches sur la variation avec la température de la perte par hystérésis d'un alliage contenant 3,64 p. 100 d'aluminium. Ils ont constaté que cette perte passe par un maximum à une température beaucoup plus élevée que celle qui correspond à la valeur maximum de l'induction. A une même température elle n'a pas tout à fait la même valeur suivant que cette température est atteinte par refroidissement ou par échauffement. La différence est surtout sensible dans le voisinage de la température correspondant au minimum de la perméabilité.

De l'ensemble de leurs expériences les auteurs tirent les conclusions suivantes :

1° La perte par hystérésis commence par décroître quand la température s'élève ; elle croît ensuite et passe par un maximum vers 550° C, puis elle décroît très rapidement et devient négligeable vers 700° ;

2° Les propriétés magnétiques de l'échantillon étudié dépendent beaucoup de son histoire antérieure ;

3° Il n'y a pas de différence essentielle entre la manière dont il se comporte lorsque la température croît et lorsqu'elle décroît, sauf dans le voisinage de la température du minimum de perméabilité ;

4° Un brusque accroissement de la perméabilité se produit vers 650° pendant l'échauffement ; il est suivi d'une diminution aussi brusque lorsque la température continue à s'élever ;

5° Cette variation brusque est plus marquée avec les températures croissantes qu'avec les températures décroissantes ;

6° Une série d'échauffements et de refroidissements successifs diminue la perméabilité ;

7° Si l'on porte en abscisses la proportion d'aluminium contenue dans un alliage et en ordonnées la température du minimum de perméabilité on obtient une ligne sensiblement droite ;

8° L'examen microscopique des échantillons montre la présence de cristaux.

Le Gérant : C. NAUD.

TABLE MÉTHODIQUE DES MATIÈRES

ÉLECTRICITÉ ET MAGNÉTISME

Théories et généralités

Conducteurs, Électrolytes et Diélectriques.

Décharge électrique.

Rayons Rœntgen, rayons Becquerel, etc.

Oscillations hertziennes.

Magnétisme.

Sources d'électricité.

Électricité atmosphérique et magnétisme terrestre.

Thermo-électricité.

Électro et Magnéto-Optique.

Électrobiologie

APPLICATIONS

Génération, transformation de l'énergie électrique.

Distribution de l'énergie électrique.

Applications mécaniques.

Traction électrique.

Télégraphie et Téléphonie.

Éclairage électrique.

Électrochimie et Électrométallurgie.

MESURES

DIVERS

Sociétés savantes, techniques et industrielles.

Exposition universelle.

Bibliographie.

TABLE DES NOMS D'AUTEURS

L

M

N

O

P

Q

R

S

T

Tome XXIII Samedi 7 Avril 1900. 7e Année. — N° 14.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

Adresser tout ce qui concerne la Rédaction à M. J. BLONDIN, 171, Faubourg-Poissonnière (9e arrondissement).

NOUVELLES ET ÉCHOS

Association amicale des ingénieurs électriciens (*séance du* 27 *mars* 1900). — La séance est présidée par M. Sartiaux, président.

Présents : MM. Solignac, Loppé, Bancelin, Pellissier, Guilbert, Blondin, Came fils, Worms, Nelson-Uhry, Brocq, Meyer-May, Lainnet, Isbert, Richard, Planzol, Rechniewski, Eschwège, Hamm, Courtois, Laffargue.

Excusé : M. Leblanc.

La démission de M. Liagre est acceptée. M. Giron est radié.

M. Martine, à Lille est admis comme membre titulaire.

M. Ancil, ingénieur électricien à Sanguera, province de Navarre (Espagne) est présenté à titre étranger.

M. le Président rend compte des visites d'appartements qu'il a faites pour trouver un local où déposer les archives. Un appartement, composé de 5 grandes pièces, 11, rue Saint-Lazare, semble convenir. Il est decidé qu'on le louera au semestre de compte à demi avec le syndicat des industries électriques.

M. le Président propose de faire, à partir du mois de mai, nos réunions à l'Exposition ; il négociera de façon que les frais ne soient pas augmentés. Des ingénieurs français ou étrangers pourront être invités par le président.

M. le Président rend compte de la réunion qui a eu lieu pour établir un ensemble de conditions à exiger des appareils de production ou d'utilisation de l'énergie électrique. M. Guilbert a préparé à ce sujet un travail qui sera autographié et envoyé à tous les membres.

M. le Président annonce que les cours de M. Laffargue sont terminés et que les examens de fin d'année auront lieu le 5 avril. MM. Bancelin, Lainnet et Courtois sont désignés pour y assister.

La séance est levée à 1 heure 45.

Syndicat professionnel des industries électriques (*séance du* 13 *mars* 1900). — La séance est ouverte à 4 heures sous la présidence de M. E. Sartiaux.

Admission dans le Syndicat de Sociétés de Constructions électriques. — M. le Président fait remarquer l'intérêt qu'il y aurait à admettre dans le Syndicat et dans la Chambre les Sociétés anonymes de Constructions électriques.

Les statuts ne s'opposent pas à l'admission de ces Sociétés qui pourraient déléguer pour les représenter un Administrateur ou un Ingénieur de leur personnel.

Dans les Assemblées générales elles pourraient cumuler leur vote avec celui de leur délégué si celui-ci fait déjà partie du Syndicat à titre personnel.

M. le Président ajoute que ces Sociétés pourraient concourir, par des subventions, à l'extension et au développement des services que le Syndicat peut rendre à l'industrie électrique.

La Chambre adopte ces propositions à l'unanimité sous réserve que les Sociétés en question ne pourront jamais être représentées dans la Chambre même, que par une seule voix. La Chambre charge son Président de faire des démarches auprès de diverses sociétés pour leur demander leur adhésion.

Fixation de la date du banquet annuel. — M. le Président propose, et la Chambre vote en principe, de reporter le banquet annuel à l'époque de la réunion des Congrès qui se tiendront à Paris, du mois de juin au mois d'août, à l'occasion de l'Exposition.

Cette coïncidence permettrait d'inviter des savants et industriels français et étrangers venus à Paris pour les Congrès. Il y aurait lieu de réunir également dans ce banquet les divers Syndicats, Sociétés ou Associations qui touchent à l'industrie électrique : on donnerait ainsi à cette réunion plus de solennité et on pourrait en outre former, avec les sociétés étrangères, les liens de confraternité utiles à l'industrie électrique française. La Chambre charge son Président de prendre sur cette question l'avis des anciens Présidents et décide de remettre la décision définitive à la prochaine séance.

Dépenses à faire par le Syndicat pendant l'Exposition. — La Chambre charge son Président de faire des démarches auprès des industriels et sociétés d'électricité en vue d'obtenir leur concours financier dans la participation aux frais qu'occasionneront au syndicat les réunions qui se feront à l'occasion de l'Exposition.

Constitution d'une Commission pour les affaires litigieuses transmises par le Tribunal de Commerce. — M. le Président rappelle que le Tribunal de Commerce adresse à notre Syndicat un certain nombre de petites affaires destinées à être arbitrées sans frais.

Ces affaires devenant de plus en plus nombreuses, M. le Président propose d'opérer comme le font certaines Chambres syndicales et de nommer des Commissions arbitrales qui seraient divisées en deux ou trois séries de trois membres chacune, chaque série opérant alternativement pendant deux mois consécutifs.

Chaque Commission se réunirait à jour fixe et réglerait de suite les contestations entre les parties convoquées par elle. En cas d'absence de l'une d'elles ou du refus de s'entendre l'affaire serait renvoyée au Tribunal avec rapport signé par l'un des membres délégués.

M. Clémançon appuie cette proposition en exposant la manière d'opérer de la Chambre des Industries du Gaz : la Commission arbitrale est composée de trois membres, qui se rendent sur les lieux pour exa-

miner l'affaire qui leur est soumise ; ils entendent les parties, et la décision prise fait l'objet d'un rapport au Tribunal, signé par un des membres de la Commission, les deux autres ne faisant fonction que d'assesseurs officieux.

M. Boistel pense qu'il n'entre pas dans les attributions de la Chambre de former une sorte de tribunal annexe à côté du Tribunal de Commerce ; ce serait un trouble apporté dans les fonctions des arbitres officiels agréés près du Tribunal.

A cette occasion M. le Président lit une lettre de M. Vivarez protestant dans le même sens.

Après un échange d'observations entre les membres présents, et de M. Harlé en particulier, qui pense qu'un seul arbitre doit suffire, celui-ci pouvant d'ailleurs faire appel, dans certains cas, à la compétence spéciale de plusieurs collègues, la Chambre renvoie à la prochaine séance la suite de la discussion de cette affaire.

Projet de rédaction de cahiers des charges-types à imposer pour la construction des différents appareils propres à la production et à l'utilisation de l'énergie électrique. — La Chambre a publié il y a quelque temps des instructions générales pour l'exécution des installations électriques à l'intérieur des maisons. Ces instructions ont eu beaucoup de succès.

L'Association amicale des Ingénieurs Electriciens, s'inspirant de ce qui a été fait, dans ce sens, à l'étranger, pour la construction des machines électriques, a pris l'initiative d'étendre cette mesure à la construction de tous les appareils propres à la production et à l'utilisation de l'énergie électrique. Les personnes qui désireraient faire l'acquisition de matériel électrique auraient ainsi sous la main une sorte de vademecum qui pourrait être consulté et imposé aux constructeurs.

L'Association demande que la Chambre délègue quelques-uns de ses membres pour élaborer ces cahiers des charges.

MM. Harlé et Azaria estiment que cette question ne rentre pas dans les attributions de la Chambre ; qu'il serait préférable de faire simplement une sorte de carcasse de cahier des charges qui pourrait être utilisé à titre consultatif par les clients ; que même, sous cette forme restreinte, il pourrait être souvent un embarras pour le client qui doit faire choix d'un fabricant, et une gêne pour les constructeurs.

M. le Président fait remarquer, au contraire, que la création de ces documents est de nature à rendre des services à tous les constructeurs, en ce sens qu'ils éviteront l'introduction, dans les commandes faites par les clients, de conditions souvent draconiennes et non en rapport avec ce que peut produire l'industrie électrique.

Après un échange d'observations entre les membres présents, la Chambre délègue MM. Harlé, Clémançon, Azaria pour assister à la première réunion plénière des Commissions de l'Association amicale en les laissant juges de l'opportunité de se retirer si les décisions prises ne sont pas conformes aux intérêts du Syndicat.

Congrès international d'électricité (10-25 *août* 1900). — Dans sa séance du 31 mars la commission d'organisation du Congrès a nommé cinq sous-commissions chargées de recueillir les communications qui seront faites au Congrès ; les commissaires nommés sont MM.

I. — Hospitalier, Janet, Pellat, pour les méthodes scientifiques et appareils de mesure.

II. — Hillairet, Meyer, Postel-Vinay, Violle, pour la production, le transport, la distribution de l'énergie électrique, l'éclairage et la traction.

III. — Bouilhet, Moissan, Monnet, pour l'électrochimie, l'électrométallurgie, les accumulateurs et les fours électriques.

IV. — Darcq, de Nerville, Sartiaux, Vivarez, pour la télégraphie et la téléphonie.

V. — D'Arsonval, Gariel, de la Touanne pour l'électrophysiologie.

Les personnes désirant faire des communications au Congrès sont priées de s'adresser à ces commissaires.

TRACTION ÉLECTRIQUE

Sur les systèmes de traction à contact superficiel. — Nous recevons à ce sujet la note suivante de M. Eug. Vigneron.

Nous avons assisté récemment à des discussions sur le système de traction à contact superficiel, nous avons constaté que ce système avait des adversaires irréductibles qui donnaient, comme raisons de leur hostilité, des arguments techniques divers ; nous avons enfin constaté l'ardeur des concurrents entre eux : pour chacun de ceux-ci, un seul système est à préconiser, celui qu'ils ont inventé ou celui qu'ils exploitent. Pour ces raisons, je crois devoir donner ici mon opinion sur cette question, que j'ai étudiée longtemps, en la basant sur un raisonnement extra-technique.

Prenons une ligne en voie double de 6 km, soit 12 km de voie simple, les plots étant distants de 4 m, cette ligne possède 3 000 plots. Si la fréquence est de 4 minutes, chaque plot fonctionnera par jour 250 fois; en somme, il y aura par jour 750 000 fonctionnements de plots, ce qui fait :

par mois 22 500 000
par an 270 000 000 de fonctionnements.

Tout revient maintenant à *considérer ces nombres* et à demander à un inventeur s'il peut affirmer que ses mécanismes *soumis à toutes les intempéries* (ceux *dits de sécurité* compris) fonctionneront certainement sans un seul raté complet 270 000 000 de fois de suite.

J'admets que l'inventeur causant sans arrière-pensée reconnaîtra que la probabilité de *ratés complets* existe, surtout sur un nombre aussi grand de fonctionnements annuels.

En résumé, les systèmes à contact superficiel, si intéressants par les combinaisons cinématiques ingénieuses, peuvent être admis sur un chemin de fer avec sa plate-forme spéciale sur laquelle ne circuleront que des employés dûment initiés aux risques ; ces systèmes devraient être rejetés complètement dans toutes grandes villes et en particulier dans Paris.

Je sais qu'on peut objecter que les autres systèmes ont leurs inconvénients, que, par exemple, un fil de trôlet peut se briser ; la réponse sera facile : l'inconvénient du plot est qu'il se trouve toujours au contact des habitants et que rien n'indiquera si un raté l'a rendu passagèrement dangereux, un fil de trôlet brisé se voit et personne, à moins d'être atteint dans la chute, ne devra raisonnablement y toucher. D'ailleurs toute l'argumentation repose sur le nombre très considérable de fonctionnements d'appareils dont le système à contact superficiel est muni, et dans les autres systèmes, on ne peut faire un raisonnement analogue.

L'expérience de ces dernières années d'ailleurs, vérifie le raisonnement.

Les installations de traction électrique faites par l'Allgemeine Électricitæts Gesellschat.

Voir L'*Écl. Élect.*, 24 mars, p. CXLIX.

Breslau (380 000 habitants). — Le tramway électrique de Breslau est une preuve marquante de l'importance que prirent les expériences faites à Halle et tout particulièrement en ce qui concerne *le service assuré et exempt de tout danger même dans les rues les plus étroites et les plus animées.* A Breslau où, à cause des rues étroites de l'ancienne ville, on ne songeait pas à l'installation des tramways, les résultats satisfaisants de Halle firent changer l'opinion et en 1892 la concession pour la traction électrique était accordée.

En outre Breslau est la première grande ville où le tarif uniforme de 10 pfennigs fut adopté sur tous les parcours.

Les résultats d'exercice furent satisfaisants dès le début.

Pour beaucoup de financiers et d'industriels, le tramway de Breslau fut la solution définitive du problème, et c'est ainsi que par le succès de Breslau, la traction électrique gagna bon nombre de nouveaux adhérents.

Les travaux commencèrent en 1892 et furent terminés en juin 1893 :

Le tramway comprend actuellement ; 31 km de voie ; 85 voitures motrices ; 100 voitures de remorque ; 900 H P de machines.

Les recettes brutes et le nombre de voitures-kilomètres furent :

ANNÉE	RECETTES BRUTES	VOITURES-KILOMÈTRES
	fr.	
1893	411,014.12	965 538
1894	929,679.50	2216 561
1895	982,165,81	2247 375
1896	1,000,421,17	2283 062
1897	1,002,532,50	2393 632
1898	1,133,619,18	3016 814

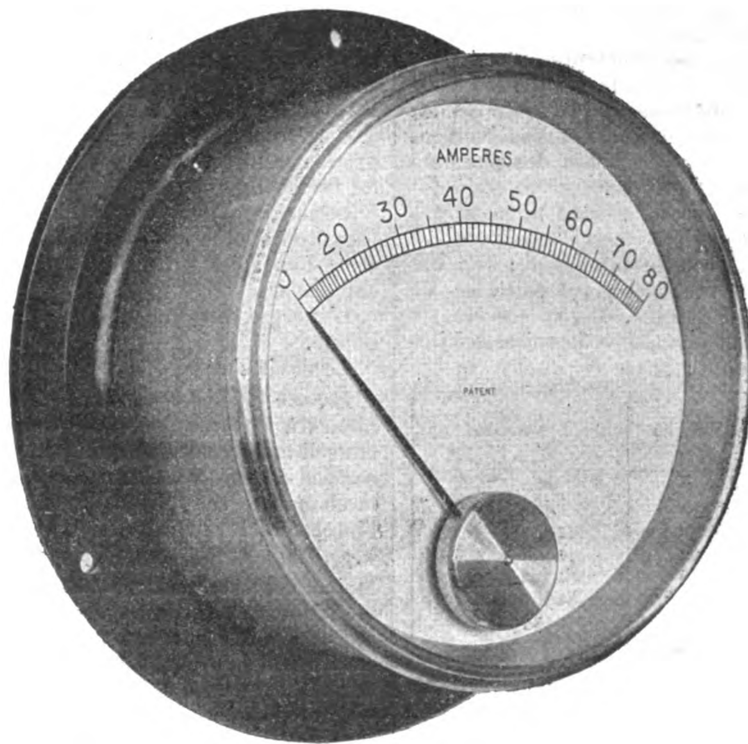
Essen (100 000 habitants, avec les faubourgs 300 000 habitants). — Un territoire tel que celui de Essen qui compte 100 000 habitants dans l'arrondissement urbain et 200 000 dans les alentours devait nécessairement compter parmi les entreprises particulièrement favorables à la traction rapide et à bon marché par l'électricité. Aussi déjà en 1892 la con-

VOLTMÈTRES et AMPÈREMÈTRES

INDUSTRIELS

Soigneusement étalonnés

Système EVERSHED



Ampèremètre industriel, d'après une photographie sans retouche.
(Cadran de 152 millimètres de diamètre.)

EVERSHED & VIGNOLES, Constructeurs.

SEULS REPRÉSENTANTS POUR LA FRANCE :

E.-H. CADIOT & CIE

12, rue Saint-Georges, Paris.

Envoi sur demande du dernier Prix-Courant.

cession accordée en 1890 pour la traction à vapeur fut-elle transformée en une concession pour la traction électrique et l'entreprise terminée au mois d'août 1893.

Il est à noter qu'à Essen certaines rues desservies par les tramways n'ont que 3,5 m de largeur entre les trottoirs.

L'A. E. G. y a installé : 22 km de voie ; 24 voitures motrices ; 17 voitures de remorque et 540 H P d'énergie électrique.

Chemnitz (165 000 habitants). — Pour cette ville les négociations pour l'application de l'électricité à la traction des tramways furent entamées dès l'année 1890. Cependant la concession ne fut accordée qu'en 1892 et c'est alors que l'on transforma les tramways à chevaux existants.

Malgré son peu de développement le tramway à chevaux était arrivé à la limite compatible avec un rendement économique et toute extension mettait sa situation financière en danger.

L'introduction de la traction électrique permit non seulement de satisfaire à toutes les exigences concernant les extensions du réseau, mais elle permit aussi l'application d'un tarif uniforme excessivement réduit (10 pfennigs) tout en réalisant des résultats financiers extrêmement favorables.

La nécessité d'extensions du réseau ne se fit pas non plus attendre par la suite.

A l'heure qu'il est le réseau comprend : 31,2 km de voie ; 51 voitures motrices ; 47 voitures de remorque ; 720 H P disponibles.

Les recettes brutes et le nombre de voitures-kilomètres furent les suivants :

ANNÉE	RECETTES BRUTES	VOITURES-KILOMÈTRES
	fr.	
1893	219,326,72	464 619
1894	464,035,38	1077 625
1895	546,476,12	1505 282
1896	608,809,76	1575 655
1897	661,270,82	1796 692
1898	772,443,10	2180 052

Informations. — *Bayonne (Basses-Pyrénées)*. — La commission des travaux publics du conseil municipal de Bayonne s'est réunie vendredi soir 30 mars, pour examiner la demande de la Compagnie du tramway en vue de substituer la traction électrique à la traction à vapeur. Ce projet d'abord mal accueilli l'année dernière, principalement à cause de la prévention contre le trôlet, semble aujourd'hui avoir triomphé de toutes les résistances.

Béziers (Hérault). — Par décret est déclaré d'utilité publique l'établissement dans la ville de Béziers et sa banlieue, d'un réseau de lignes de tramways à traction mécanique. La Compagnie des tramways électriques de Béziers est chargée de la construction et de l'exploitation de ces lignes.

Bière (Suisse). — Il est question de l'établissement d'un chemin de fer électrique reliant Bière à Mollens par Berolle.

Suivant l'exposé général, ce chemin de fer partirait de la gare de Bière, se dirigerait vers Berolle sur son propre corps de voie en se tenant proche de la route sur une longueur de plus d'un kilomètre, pour s'en écarter à Berolle. De là à Mollens, il suivrait de nouveau la route cantonale pour se terminer à 5,65 km au-dessous de Mollens.

Cette ligne serait pour la contrée intéressée d'une grande utilité, car elle la relierait au chemin de fer de Jura-Simplon.

Le maximum de pente est d'environ 4,8 p. 100, le rayon minimum de 100 m et la largeur de la voie de 1 m. Les rails seront du type Vignole de 20 kg et sur traverses en fer.

L'énergie sera fournie par l'usine électrique d'Aubonne.

Le devis s'élève à 370 000 fr.

Evreux (Eure). — MM. Delaporte et Roux, ingénieurs à Paris, ont engagé des pourparlers avec le conseil municipal d'Evreux pour l'établissement d'un service de voitures à traction électrique roulant sur la chaussée, sans rails, et recevant le courant par l'intermédiaire de deux fils aériens.

Maisons-Laffitte (Seine-et-Oise). — M. le Maire de Maisons-Laffitte expose au conseil qu'une enquête vient d'être ouverte sur les avant-projets présentés par la Compagnie des tramways mécaniques des environs de Paris et tendant à la construction d'une double voie et à la substitution de la traction électrique à la traction à vapeur sur la ligne de Neuilly

à Maisons-Laffitte. Après avoir entendu les avis différents de MM. Granet, Augendre, Panseron et Macaire, Giroux, M. le Maire décide que, en considération de la commodité et de la rapidité des transports que cette mesure est susceptible d'apporter, il y a lieu d'autoriser la Compagnie des tramways mécaniques de Paris à exécuter les deux projets en question.

Marseille (Bouches-du-Rhône). — Six demandes d'autorisation d'établissement de voies diverses se trouvent à l'heure actuelle à la Préfecture, où elles ont été transmises par l'administration municipale.

La première concerne la ligne projetée d'Endoume qui devra partir du quai de la Fraternité et aboutir à Endoume en passant par la rue Breteuil et la rue Sainte.

La troisième ligne sollicitée est celle du boulevard Périer (depuis le Prado jusqu'à la place Périer).

La quatrième est celle de Castellane-Longchamps par la rue de Lodi, la place Saint-Michel et la rue Saint-Savournin.

La cinquième demande vise la ligne du vieux chemin de Mazargues. Cette ligne devait partir de Saint-Giniez pour aboutir à Sainte-Anne, d'après les clauses de la convention du 15 février 1898 ; toutefois elle sera prolongée jusqu'au Pas-des-Lanciers.

Enfin la dernière ligne est celle du boulevard National à Saint-Barthélemy par la rue Belle-de-Mai, qui pourra conduire les voyageurs de Saint-Barthélemy jusqu'à la Joliette.

Deux autres lignes, celle de la Croix-Rouge et celle de la Pomme, doivent fonctionner prochainement.

Milan (Italie). — *La Compagnie Thomson-Houston de la Méditerranée* vient d'établir un projet pour la substitution de la traction électrique à la traction à vapeur sur une partie du réseau septentrional qui relie Milan aux lacs italiens.

Ainsi que cela a déjà été fait, on produira des courants alternatifs triphasés à haute tension pour alimenter différentes sous-stations. Là, le potentiel sera abaissé et le courant alternatif transformé en courant continu à 600 volts, au moyen de convertisseurs rotatifs système T.-Houston. Le matériel roulant se composera de 20 voitures automotrices à 4 essieux, actionnées chacune par un moteur à simple réduction d'engrenage d'une puissance de 640 chevaux effectifs.

Paris. — Il s'agit cette fois d'un chemin de fer à voie et à gabarit normaux qui traverserait Paris du Nord au Sud et raccorderait l'une de ses extrémités à la gare et aux voies mêmes du chemin de fer du Nord, tandis que l'autre se souderait au chemin de fer d'Orléans à la gare de la place Denfert. Le tracé des lignes serait à peu près : rue Lafayette, Opéra, rues de la Paix et Castiglione, Tuileries, rue Solférino, boulevards Saint-Germain et Denfert, Bon-Marché, gare Montparnasse, place Denfert. La ligne serait entièrement souterraine.

Le projet de création de cette ligne est dû à la réunion d'éléments financiers et techniques qui comprennent trois groupes : la Compagnie française des procédés Thomson-Houston, le Comptoir national d'Escompte et la Société française de constructions mécaniques. Ces trois groupes ont constitué une société d'études au capital de 200 000 fr dont le conseil d'administration est ainsi composé : MM. Mercet, président, Rostand, Postel-Vinay, Thurnauer, Le Châtelier et Gorgeu.

La demande de concession est, croit-on, déposée

au ministère, et malgré les lenteurs des formalités administratives, il semble qu'elle puisse être accordée avant la fin de l'été, au sortir de l'Exposition.

Villefranche-sur-Rhône. — La commission départementale du Conseil général du Rhône a décidé la mise à l'enquête du projet de tramway électrique de Villefranche, avec embranchements sur Lozanne, d'une part, et sur Rivolet, d'autre part. Le projet est aujourd'hui définitivement arrêté et l'enquête a été ordonnée dans les premiers jours du mois de mars.

ÉCLAIRAGE

Informations. — *Abbeville (Somme).* — Depuis plusieurs mois on se préoccupe au conseil municipal d'éclairer la ville à l'électricité. On parle de conférer le monopole à la compagnie du gaz. D'autres compagnies sont aussi sur les rangs. Le conseil municipal d'Amiens évalue à 80 000 francs l'économie que lui procure par an la substitution de l'électricité au gaz.

Brou (Eure-et-Loir). — Le conseil municipal de cette ville vient de décider la création d'une usine électrique destinée à l'éclairage privé et à l'éclairage public.

En ce qui concerne la voie publique, on croit devoir obtenir avec 80 lampes à incandescence de 20 bougies, substituées aux 69 lampes à pétrole de 12 bougies qui jalonnent actuellement les rues, un éclairage suffisant.

Le coût de l'éclairage pour les particuliers n'excédera pas 0,05 fr. par lampe de 16 bougies et par heure d'allumage ; 0,03 fr. par lampe de 10 bougies et par heure d'allumage.

Châtelguyon (Puy-de-Dôme). — Les propriétaires des principaux hôtels et des principales villas de Châtelguyon réclamaient l'installation de l'électricité dans la station. C'est pour répondre à ce désir que la Compagnie générale d'énergie électrique vient de se créer au capital de 300 000 francs.

Évreux (Eure). — Le conseil municipal va être convoqué incessamment pour délibérer sur la proposition faite par M. Delaporte de l'établissement de l'éclairage électrique dans cette ville.

BIBLIOGRAPHIE

Manuel théorique et pratique de l'automobile sur route, par **Gérard Lavergne.** Un vol. in-8° de 700 pages avec 329 figures dans le texte. *Ch. Béranger, succ. de Baudry et Cie*, éditeur. Prix, relié, 17 fr. 50.

Le développement de l'automobilisme a eu pour conséquence, bien naturelle à cette époque où toute maison d'édition tient à avoir au moins un ouvrage sur les questions d'actualité, de multiplier le nombre des publications relatives à l'automobilisme. Nécessairement, nous retrouvons dans les dernières venues bon nombre de faits déjà connus par leurs aînées, mais chaque auteur envisageant généralement le sujet à un point de vue particulier, cette multiplicité des ouvrages n'a pas, du moins jusqu'à présent, les inconvénients que l'on pourrait craindre ; elle nous paraît même avoir un avantage, celui de mettre peu à peu en relief les données fondamentales des problèmes complexes que soulève l'automobilisme en les dégageant des faits secondaires qui, suivant le point de vue auquel s'est placé un auteur, prennent quelquefois une trop grande prépondérance dans un ouvrage.

M. Lavergne a su éviter cet écueil. Son ouvrage semble bien équilibré ; les points principaux sont nettement mis en évidence ; les divers systèmes d'automobiles sont traités avec l'ampleur qui convient à leur importance relative actuelle ; la partie purement descriptive est réduite à de justes proportions ; en un mot, il mérite bien le titre de *Manuel théorique et pratique*.

Le plan en est d'ailleurs fort simple. Dans une première partie, l'auteur fait connaître, dans un court historique, les agents employés actuellement pour la locomotion automobile (pétrole, vapeur, électricité), puis les agents possibles (gaz comprimé, gaz liquéfié, eau chaude, acétylène, alcool, benzine). La seconde partie comprend l'étude des éléments des voitures automobiles ; les moteurs, les transmissions, le véhicule et les appareils de

graissage. L'étude des moteurs est subdivisée en cinq chapitres consacrés respectivement aux moteurs à vapeur, aux moteurs à pétrole, aux accumulateurs et moteurs électriques, à la comparaison des avantages et inconvénients de chacun de ces modes de production d'énergie mécanique, et enfin au calcul de la puissance à donner aux moteurs d'après l'évaluation de la résistance à vaincre. Celle du véhicule est subdivisée en trois chapitres, l'un consacré aux essieux, roues et bandages, un autre aux ressorts, chaises et caisse, le troisième aux freins. L'étude des transmissions et celle du graissage ne forment chacune qu'un chapitre. Dans la troisième partie, nous trouvons une description des principaux types de voitures automobiles à vapeur, à pétrole et électriques. Enfin, une quatrième partie nous donne un résumé des résultats officiels des concours d'automobiles qui ont eu lieu récemment tant en France qu'à l'étranger, et se termine par l'indication des desiderata actuels de l'industrie de l'automobilisme.

Resterait à dire comment ce plan a été développé. Outre que cela nous entraînerait bien au-delà des limites d'un compte rendu bibliographique, nous aurions quelque peine à le faire, car malgré l'intérêt qu'ils peuvent présenter, nous avons, pour cause d'incompétence, passé rapidement dans une première lecture sur tous les développements ne se rapportant pas immédiatement ou indirectement aux automobiles électriques. Quant à celles-ci, elles sont décrites avec suffisamment de détails pour que les électriciens trouvent intérêt à lire l'ouvrage.

J. R.

Studia sui parafulmini (étude sur les paratonnerres), par **Angelo della Riccia**, capitaine du génie italien. Une brochure de 75 pages, extrait de la *Rivista d'Artigliera e Genio*, Rome.

Cette étude parait avoir pour but de vulgariser parmi les ingénieurs militaires, les principes sur lesquels doit reposer la construction des paratonnerres. Elle n'en constitue pas moins un mémoire complet fort intéressant par le côté scientifique. L'auteur commence en effet par parler des phénomènes électromagnétiques nécessaires pour se rendre compte de la propagation des courants à haute fréquence dans les conducteurs non dépourvus de self-induction : il examine ensuite les propriétés de l'étincelle disruptive, puis la nature de la décharge atmosphérique. Ce n'est qu'après ces considérations d'ordre scientifique qu'il aborde la question technique : constitution et construction des paratonnerres, dispositions spéciales à prendre dans les bâtiments à charpente métallique, pour les poudrières, etc.

Résumé de la méthode graphique pour l'étude des courants alternatifs. — Applications aux machines à courants alternatifs, par **S. Hanappe** ; extrait des Publications de la Société des Ingénieurs du Hainaut.

Dans ce petit traité des méthodes graphiques, M. Hanappe a surtout pour but « de présenter un résumé basé presque exclusivement sur les procédés graphiques en usage en électricité et comprenant les solutions les plus difficiles relatives aux courants alternatifs polyphasés ».

L'auteur reprend tout d'abord l'étude graphique d'un circuit possédant de la résistance, de la self-induction et de la capacité, en traitant un certain nombre de cas particuliers bien connus.

Il étudie ensuite graphiquement les transformateurs par les deux méthodes généralement employées : méthode des inductions mutuelles et self-inductions et méthode des flux, en insistant particulièrement sur cette dernière avec le diaphragme de M. Kapp. Un exemple de vérification expérimentale est donné pour chacun des types les plus connus de transformateurs.

Une seconde partie de l'ouvrage concerne les moteurs à courants polyphasés ; M. Hanappe y passe en revue la production des champs magnétiques tournants et le fonctionnement des moteurs, avec exemples à l'appui.

L'auteur termine par le calcul des dimensions des moteurs asynchrones polyphasés.

L'étude de M. Hanappe sur les procédés graphiques est particulièrement intéressante par sa simplicité et sa concision, et est à recommander aux personnes qui veulent se mettre rapidement au courant des calculs graphiques.

C.-F. Guilbert.

Analyse électrochimique, par **Édgar F. Smith**. Traduction de **M. Joseph Rosset**. Un vol. in-12, de 200 pages de la Bibliothèque des Actualités scientifiques. *Gauthier-Villars*, éditeur.

Les méthodes électrolytiques, trop longtemps méconnues des chimistes, prennent depuis quelques années une place importante dans les travaux du laboratoire. C'est que l'électrolyse ne fournit pas seulement des moyens de préparation, elle fournit aussi des procédés d'analyse. — Le livre du professeur Smith est un exposé très clair de ces méthodes analytiques. Destiné à tous les chimistes, aux plus inexpérimentés comme aux plus habiles, il donne avec précision tous les détails opératoires. Un bon guide pratique ne doit pas seulement être précis, il faut encore qu'il soit bref; c'est le mérite de celui-ci. Le professeur Smith ne s'attarde pas, comme font d'autres auteurs, à décrire pour chaque cas particulier toutes les méthodes possibles. Il parait bien qu'il les a étudiées toutes et qu'il ne garde que les meilleures. — Un lecteur curieux peut retrouver les autres. En effet, l'étude de chaque métal est précédée d'un index bibliographique très complet. — Un index général se trouve d'ailleurs à la fin du volume. Et après l'exposé historique qu'on trouve au commencement, l'auteur donne une liste très complète des ouvrages à consulter sur l'électolyse, en prenant soin d'indiquer ceux qui méritent une étude approfondie. — Ce souci de la bibliographie sera certainement très remarqué du public français qui, malheureusement, n'est pas habitué à le rencontrer dans les ouvrages publiés en France.

On saura gré à l'auteur d'avoir réduit à une trentaine de pages la description préliminaire des appareils de production, de réduction et de mesure des courants. On la voudrait plus courte encore. Par contre, on voudrait voir plus développé le chapitre des oxydations électrolytiques, et celui où l'acide azotique figure seul comme composé non métallique dosable par l'électrolyse. — On souhaiterait aussi de voir indiquées dans le cours de l'ouvrage, les idées directrices qui doivent présider à l'étude des séparations électrolytiques, idées qui ont été développées par Max Leblanc, Nernst, et leurs élèves. Mais cela élargirait peut-être un peu trop le cadre de ce livre. — On trouve à la fin des données pratiques précieuses, qui ne se trouvaient pas dans l'édition américaine, et que le professeur Smith a transmises à M. Rosset : c'est une sorte de cahier d'expériences où sont décrites un assez grand nombre d'analyses effectuées véritablement dans son laboratoire. Ce détail caractérise bien l'utilité pratique de l'ouvrage qui rendra certainement service aux chimistes.

Job.

L'Essor industriel et commercial du Peuple allemand, par **Georges Blondel**, 3e édition augmentée. Un volume in-12 de XX-502 pages. *Larose*, 22, rue Soufflot, éditeur.

Ce n'est pas à nos lecteurs qu'il est nécessaire de signaler l'importance qu'ont prise toutes les industries électriques en Allemagne. L'auteur du livre que nous signalons ici a consacré d'ailleurs un important paragraphe aux usines d'électricité. Il présente du reste un tableau d'ensemble très étudié et fortement documenté de l'Allemagne économique contemporaine. Il insiste surtout sur les causes du prodigieux essor industriel et commercial du peuple allemand, et montre fort bien que la science joue de plus en plus un rôle décisif dans la vie économique des peuples. C'est grâce à une coordination des efforts remarquable, et à un grand développement des progrès scientifiques de toute sorte qu'il s'est constitué en Allemagne une puissance industrielle qui pèse d'un grand poids sur les marchés du monde. L'union étroite entre la science et l'industrie a porté les meilleurs fruits. M. Blondel met aussi en relief dans un remarquable appendice le rôle considérable du banquier dans le développement du pays.

Ce livre, vrai modèle de clarté et d'exposition attrayante en une matière aride, présente un intérêt très vif pour les industriels qui y trouveront des éléments d'informations très précis et très utiles; nous ne saurions trop le recommander à nos lecteurs.

La pratique industrielle des courants alternatifs (courants monophasés), par **G. Chevrier**, ingénieur à l'usine centrale du Secteur Électrique de la rive gauche. Un vol. in-8° carré de 270 pages avec 109 figures, cartonné à l'anglaise. *Georges Carré et C. Naud*, éditeurs. Prix : 9 fr. (vient de paraitre).

AVIS

A vendre ou *à louer* **Chute d'eau**, puissance 2 000 chevaux sous gros volume d'eau, distance 5 km d'une ville importante, vastes terrains usiniers, gare à proximité.

S'adresser : *Société Forces du Fier*, Annecy (Haute-Savoie).

Les travaux d'aménagement en cours d'exécution seront terminés en juin 1900.

On désire ***acheter*** une ***Station Centrale Électrique d'Éclairage***. Puissance : de **200** à **400** chevaux.

Ecrire à M. C. de Lirac, *rue Barbet-de-Jouy*, n° 42, Paris.

Tome XXIII Samedi 14 Avril 1900. 7e Année. — N° 15.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

NOUVELLES ET ÉCHOS

EXPOSITION UNIVERSELLE

Bien que les travaux soient partout poussés avec une fiévreuse activité, les visiteurs ne trouvent guère encore à admirer que la magnifique ordonnance des façades des Palais ; encore celles-ci sont elles de nouveau cachées en partie par les échafaudages qui avaient disparu comme par enchantement le jour de l'inauguration.

Les Groupes IV et V. — Les nombreux exposants des groupes de la Mécanique et de l'Electricité rivalisent d'efforts pour achever leurs installations. Mais tandis que ceux qui exposent de grosses machines se trouvent retardés par l'impossibilité d'exécuter aussi vite qu'ils le désireraient le déballage ou le montage de ces machines, les exposants de machines de moindres dimensions et surtout ceux d'appareils de précision retardent leurs installations dans la crainte fort légitime que les objets exposés n'aient trop à souffrir de l'atmosphère poussiéreuse.

Dans les galeries qui, de chaque côté, encadrent le palais de l'Electricité, il y a cependant de grands progrès et les installations sont fort avancées ; il n'en va pas de même dans le palais de l'Electricité dont la partie centrale est encore entre les mains des ouvriers qui terminent le Château d'Eau.

Quelques-uns des groupes électrogènes que nous signalions dans le dernier numéro comme étant très avancés seraient actuellement en mesure de fournir du courant.... si les batteries de chaudières pouvaient leur fournir de la vapeur en quantité suffisante ; d'ailleurs comme il n'a pas été démontré jusqu'ici que la poussière ait pour effet de diminuer les frottements, les constructeurs de plusieurs de ces groupes ont déclaré ne pouvoir fonctionner que lorsque l'atmosphère des deux usines génératrices serait un peu moins chargée de particules de plâtre. Le service de la distribution de l'énergie électrique reste donc dans les mêmes conditions qu'il y a huit jours et seul le groupe Charon-Vicarino fournit l'énergie nécessaire à la manutention des deux usines. Ajoutons qu'une locomotive électrique, à accumulateurs, de la Compagnie des Chemins de fer du Nord vient également faciliter cette manutention en effectuant la traction, à l'intérieur de ces usines, des nombreux wagons apportant les machines des exposants.

Rien de nouveau à signaler dans les transports de l'Exposition : la plate-forme tourne toujours : le chemin de fer n'est pas encore livré à l'exploitation.

Le Palais de l'Optique. — Parmi les attractions qui peuvent intéresser les électriciens par les applications qui y sont faites de l'énergie électrique, signalons le Palais de l'Optique.

Ce Palais a été construit dans le but principal d'abriter la magnifique et puissante lunette de 60 m. de distance focale de M. Gautier, lunette qui permettra de distinguer deux points du ciel séparés par une distance angulaire de un dixième de seconde d'arc seulement, ce qui correspond à deux points distants de 187 m. sur la surface de la lune. Mais en vue de faire participer le public aux dépenses considérables occasionnées par la construction de cet appareil d'optique sans rival, on a frappé d'un droit d'entrée l'entrée du Palais et l'on a installé dans celui-ci de nombreuses attractions utilisant les phénomènes de l'optique. A vrai dire beaucoup de ces attractions, si elles sont ignorées du gros public, sont connues des physiciens. Notons néanmoins un appareil producteur de rayons X d'une très grande puissance qui permet de faire voir par radiographie les organes intérieurs d'un corps humain entier, ainsi qu'une intéressante application des sulfures de zinc phosphorescents de M. Charles Henry qui par la mise en scène dont elle est accompagnée ne manque pas d'originalité. Notons aussi l'application de la lumière émise par des photobactéries à l'éclairage d'une salle, ainsi qu'une application semblable des tubes de Geissler, mais à ce dernier propos exprimons le regret — dans l'espoir qu'il en sera tenu compte — de n'avoir pas vu figurer le système d'éclairage de ce genre que M. Moore préconise aux Etats-Unis et qui, dans ce pays et en Angleterre, a été utilisé à différentes reprises pour l'éclairage de salles de conférences et de chapelles. Si ce mode d'éclairage doit réellement devenir l'éclairage de l'avenir, il est indispensable que l'Exposition de 1900 nous fasse connaître ce qui a déjà été obtenu dans cette voie.

Assurances contre le vol. — Aux termes des articles 72 et 73 du règlement général, l'administration de l'Exposition universelle de 1900 décline toute responsabilité pour les vols commis dans l'enceinte de l'Exposition.

C'est donc aux exposants de se couvrir contre les pertes ou dommages pouvant résulter, pour eux, de vols, ou de tentative de vol, par une assurance contractée avec une compagnie notoirement solvable et présentant, en outre, toutes les garanties désirables.

Cette assurance peut être faite, soit par chaque exposant agissant individuellement, soit par MM. les membres du bureau de chaque classe, agissant au nom de la collectivité des exposants de chaque classe, ou d'un certain nombre seulement d'exposants, soit encore par MM. les Commissaires des puissances, agissant au nom des exposants de leurs pays respectifs.

Une compagnie d'assurances étrangère s'est préoccupée d'offrir à tous les exposants une assurance spéciale contre les risques de vol et de détérioration des objets exposés dans les divers palais et bâtiments de l'Exposition, et, nous avons sous les yeux un exemplaire de sa police, trop longue pour être

tifs de la voie étroite et de la voie normale pour la traction électrique, spécialement au point de vue de la possibilité de l'adoption de moteurs suffisamment puissants et des autres organes mécaniques.

Rapporteur : M. Gunderloch, Directeur des « Bergische Kleinbahnen », à Elberfeld.

IV. — *Composition de l'Usine centrale.*

Quelle est la composition de votre usine centrale au point de vue des divers éléments contribuant à la production économique de l'énergie, et notamment de la capacité de l'usine, des dynamos, des machines à vapeur, des chaudières, des appareils divers, du fonctionnement de l'usine, etc. (Un questionnaire spécial a été rédigé à cet effet).

Rapporteur : M. d'Hoop, Directeur de la Société des Tramways Bruxellois.

V. — *Systèmes de distribution du courant.*

Quel est pour les grands réseaux de tramways comprenant des lignes suburbaines, susceptibles d'extensions à longue distance, le meilleur système de distribution de courant : continu, alternatif, polyphasé, etc. ?

Rapporteur : M. Van Vloten, Ingénieur-électricien, à Bruxelles.

VI. — *Joint coulé système Falk.*

Avez-vous fait usage du joint Falk et avec quels résultats ?

A quelles époques avez-vous appliqué ce système à vos voies ?

A quelle longueur de voie ce joint a-t-il été appliqué et quel est le type de voie auquel vous avez fait cette application ?

Quelles sont les considérations techniques qui vous l'ont fait adopter ?

Dites notamment si vous avez appliqué ce système à des voies neuves ou à des voies existantes, en vue d'éviter le renouvellement.

Par quelles considérations financières avez-vous justifié la dépense considérable qu'entraîne l'application de ce procédé ?

Quel est le coût par joint : pour les travaux de pavage et de fouilles, le décapage des joints, la main-d'œuvre du coulage, le coût de la fonte liquide, les redevances pour brevets et frais divers ?

Quelle est l'importance du matériel nécessaire pour faire 50 joints par jour, en coût et en quantité ?

Quelle est la proportion de joints défectueux ou de rails cassés que vous avez constatée ?

A quelles causes attribuez-vous cette rupture ?

Avez-vous observé que les cas de rupture varient avec les saisons ? Après combien de temps ces accidents se sont-ils produits ?

Quelle est la longueur de rail continu que vous avez pu établir sans prendre de dispositions spéciales au point de vue de la dilatation ?

Maintenez-vous les connexions électriques spéciales, malgré le joint Falk.

Avez-vous d'autres observations à formuler sur ce système ?

Rapporteur : M. Fischer-Dick, Directeur à la Grande Société de Tramways de Berlin

VII. — *Accumulateurs.*

Quels sont les progrès qui ont été réalisés en ce qui concerne la traction par accumulateurs ?

a) Au point de vue de la construction, de la capacité et de la réduction du poids des accumulateurs.

b) Au point de vue de la durée et du coût de l'entretien de ces appareils.

c) Au point de vue de leur application économique et pratique à la traction des tramways.

Rapporteurs : M. Broca, Directeur de la Compagnie des Tramways de Paris et du Département de la Seine et M. Johannet, Ingénieur de la Compagnie Générale de Traction et d'Électricité, Paris.

VIII. — *Chauffage des voitures.*

Indiquez les applications nouvelles ou les améliorations apportées aux systèmes de chauffage des voitures sur les lignes vicinales, tant pour les trains de voyageurs que pour les trains mixtes.

Indiquez le coût d'établissement, d'entretien et d'exploitation, ainsi que le résultat de votre expérience pour les divers systèmes que vous avez employés.

Rapporteur : M. C. de Burlet, Directeur Général de la Société Nationale belge de Chemins de fer vicinaux, Bruxelles.

IX. — *Mode d'exploitation des chemins de fer secondaires.*

Quels sont les avantages et les inconvénients de l'exploitation directe des chemins de fer secondaires par les Sociétés auxquelles ils appartiennent, comparativement à l'exploitation de ces lignes par les grands chemins de fer auxquels elles sont affluentées.

Rapporteur : M. Ziffer, Président de diverses Sociétés de chemins de fer d'intérêt local en Autriche à Vienne.

X. — *Adoption d'une base unique pour l'appréciation de la puissance des moteurs électriques et des dynamos génératrices.*

N'y a-t-il pas lieu, à votre avis, d'adopter une base unique pour l'appréciation de la puissance des moteurs électriques et des dynamos génératrices, en tenant compte des divers éléments qui peuvent intervenir dans cette détermination, comme le rendement, la vitesse, le couple, l'échauffement, etc. ?



Frankfurt A. O. (60 000 habitants). — Le tramway électrique de Francfort S. O. fut inauguré au mois de janvier 1898 conjointement avec une station centrale d'éclairage électrique. Le tramway comprend : 11 km de voie, 24 voitures motrices, 6 voitures de remorque, 450 HP de machines.

	Recettes brutes	Voitures-kilomètre
1898	228 774,86	695 454

Lodz (Russie, 330 000 habitants). — Lodz est une de ces grandes villes qui se sont développées avec une rapidité extraordinaire. De 20 000 en 1840, sa population s'était accrue à 325 000 en 1897. *Et ce qu'il y a de plus surprenant, c'est que récemment encore il n'existait aucun autre moyen de transport que des fiacres.* Il n'est dès lors plus guère besoin d'appuyer sur les avantages que présente cette ville en ce qui concerne la traction électrique.

La première concession fut accordée en 1896, les travaux commencèrent en 1897 et l'exploitation en décembre 1898.

Actuellement il existe : 16,2 km de voie, 30 voitures motrices, 30 voitures de remorque, 1 100 HP d'énergie électrique. Les travaux d'extensions sont poussés activement.

Saarthal-Bahnen. — Cette entreprise est destinée à établir une communication rapide et économique entre les différentes localités de la populeuse vallée de la Saar.

Les villes à desservir en première ligne sont Saarbrücken, Saint-Johann et Malstatt-Burbach avec un total de 60000 habitants. Le service comprend à l'heure qu'il est : 20 km de voie, 30 voitures motrices, 14 voitures de remorque, 500 HP d'énergie électrique.

Hörder Kreisbahnen (100000 habitants). — Le tramway de l'arrondissement de Hörde rentre dans la catégorie des chemins de fer vicinaux. Il établit la communication avec Dortmund et vise la jonction avec toutes les communes de l'arrondissement.

La densité de population de l'arrondissement exigeait un moyen de locomotion à la fois *fréquent et bon marché*, que, seule, la traction électrique pouvait réaliser ; et c'est aussi dans cette intention qu'on l'établit.

La grande étendue du territoire nécessite plusieurs stations centrales. Pour le moment une partie du courant est fournie par la station centrale des tramways de Dortmund, une autre partie par une station établie à Berghofen près Hörde. Le tramway comprend actuellement : 20 km de voie, 30 voitures motrices, 10 voitures de remorque, 400 HP d'énergie électrique sans compter l'énergie de l'usine centrale de Dortmund. L'extension du réseau se poursuit sans interruption.

Sevilla (Espagne, 145 000 habitants). — Le tramway à Sévilla comprend : 19,9 km de voie, 35 voitures motrices, 30 voitures de remorque, 1 400 HP de machines.

L'usine centrale fournit en même temps l'énergie pour l'éclairage.

TRAMWAYS EN VOIE DE CONSTRUCTION. — *Santiago de Chile* (Amérique du Sud, 300000 habitants). — L'entreprise qui est actuellement en voie d'exécution à Santiago est assez importante. D'une part il s'agit de doter la ville d'une installation d'éclairage et de force, d'autre part de transformer tout le réseau de tramways en vue de la traction électrique. La Société qui a en mains l'entreprise est la *Chilian Electric Tramways et Light Cº Limited* avec un capital de 1 050 000 livres sterling.

En ce qui concerne les tramways l'entreprise comprend 117 km de voie, 170 voitures motrices, 150 voitures de remorque. La force motrice nécessaire sera délivrée par une usine hydraulique située sur la Maipu-rivière : toutefois on a prévu à Santiago à titre de réserve une station centrale à vapeur qui pourra fournir 6 000 chevaux après la première période de construction.

Barcelone (Espagne, 280000 habitants). — En voie de construction : 52 km de voie, 70 voitures motrices, 75 voitures de remorque. L'énergie électrique sera fournie par l'usine centrale d'électricité de Barcelone d'une puissance de 7 000 HP.

Karlsruhe (73 400 habitants). — Il y a en voie de construction 17,7 km de voie, 34 voitures motrices, 24 voitures de remorque, 460 HP de machines. Une partie des voitures motrices fut équipée avec des accumulateurs, la pose du conducteur aérien n'ayant pas été autorisée dans certaines rues.

Réseaux divers. — De plus se trouvent en voie de construction les prolongations des tramways à ***Bilbao, Braunschweig, Breslau, Bromberg, Chemnitz, Danzig, Dortmund, Duisburg, Genua, Görlitz, Halle,***

Hörde, Jassy, Kiel, Leipzig, Lodz, Lübeck, Saarthal, Strasbourg, Suttgart.

Informations.— *Bétharram* (*Hautes-Pyrénées*). — On procède en ce moment aux premières études pour l'établissement d'un tramway électrique qui relierait la station de Bétharram à la ville de Lourdes.

C'est la compagnie Chambrelent et Medebielle qui établirait cette ligne, dont la force motrice serait empruntée au gave de Pau.

Bruxelles (*Belgique*). — La construction du chemin de fer électrique entre Bruxelles et Anvers vient d'être décidée définitivement.

L'installation devra être terminée dans une période de deux ans. Elle sera établie de la gare du Midi à Bruxelles à la place Meir à Anvers, comprenant sur tout le parcours deux voies distinctes.

L'énergie électrique sera donnée par un troisième rail central; l'usine centrale sera installée à Malines, à peu près à égale distance des deux points terminus.

Châteauroux (*Indre*). — Le préfet de l'Indre a pris un arrêté ordonnant une enquête d'utilité publique sur l'avant-projet des tramways électriques projetés dans la ville de Châteauroux et la commune de Déols.

Gémenos (*Bouches-du-Rhône*). — Le conseil municipal de Gémenos réuni récemment en séance publique a émis le vœu de rappel en faveur d'une prompte et satisfaisante solution au sujet de la question des trains électriques reliant Marseille à Gémenos.

Issy-les-Moulinaux (*Seine*). — La ligne de tramways projetée entre Issy et Versailles, comportait l'emprunt de la route départementale n° 31, quai d'Issy et du pont de Billancourt, avec terminus dans Boulogne sur la route départementale n° 1.

Conformément à une demande du Conseil municipal d'Issy, l'avant-projet a été modifié de manière que la ligne, au lieu d'aboutir à Boulogne par le pont de Billancourt, soit prolongée dans Issy depuis ce pont jusqu'à la route nationale n° 189, par la rue de Boulogne.

Lourdes (*Hautes-Pyrénées*). — *Funiculaire du Pic du Jer.* — Le premier véhicule à traction funiculaire — un fourgon pesant environ 1 500 kg — a escaladé mercredi 11 avril, le sommet du Grand-Jer.

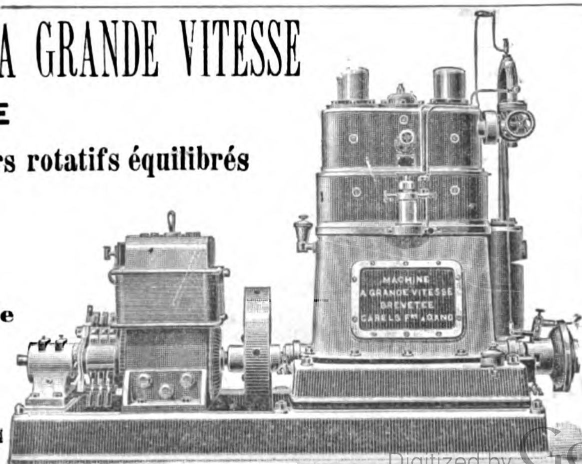
L'expérience était dirigée par MM. Chambrelent et Médebielle. Les résultats de cet essai, qui ont été très satisfaisants, font honneur aux hardis constructeurs de cette œuvre et donnent à espérer que le funiculaire du Grand-Jer attirera beaucoup d'étrangers dans la ville.

Melun (*Haute-Marne*). — L'approbation par le conseil municipal de l'acte de constitution de la Société anonyme les « Tramways melunais » est la dernière formalité à remplir avant que le conseil d'Etat donne son approbation.

La ville, qui recevra une redevance de la compagnie, n'aura en aucune façon à s'immiscer dans les combinaisons financières de celle-ci. Les travaux commenceront trois mois après l'arrêté approuvant les plans d'exécution et ils devront être terminés dans un délai de six mois.

Morez (*Jura*). — M. le maire donne communication au Conseil d'une demande écrite de M. Brazzola, ingénieur architecte de Lausanne, demandant à la ville de Morez dans quelles conditions on lui accorderait la concession d'un réseau de tramways électriques. Le Conseil décide de charger une commission d'étudier le projet de M. Brazzola.

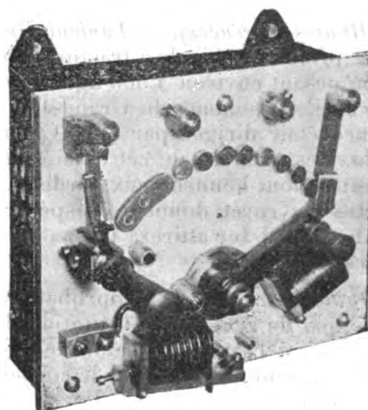
Rochefort (*Charente-Inférieure*). — Le Conseil général des ponts et chaussées a émis un avis favorable



APPAREILS DE MISE EN MARCHE

Pour moteurs électriques

(Modèle déposé)



AVANTAGES :

1° Protection contre le manque d'induction ;
2° Fausse manœuvre impossible ;
3° Tous les accessoires de moteurs assemblés en un seul appareil ;
4° Construction irréprochable.

GEORGE ELLISON

33, rue de l'Entrepôt, PARIS

Appareillage spécial pour Tensions jusqu'à 500 Volts

The General Electric C° L^{d}

LUSTRERIE

VENTILATEURS

Téléphones

Supports
Interrupteurs
Coupe-circuit, etc.

AGENT GÉNÉRAL :

LUCIEN ESPIR

11 *bis*, rue de Maubeuge, — PARIS

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE

L'ACCUMULATEUR TUDOR

Société anonyme. Capital : 1.600.000 fr.

Siège social : 48, rue de la Victoire, Paris

USINES : 39 et 41, route d'Arras, LILLE

INGÉNIEURS-REPRÉSENTANTS :

ROUEN, 47, rue d'Amiens. — LYON, 106, rue de l'Hôtel-de-Ville.
NANTES, 7, rue Scribe. — TOULOUSE, 62, rue Bayard.
NANCY, 2 *bis*, rue Isabey.

ADRESSE TÉLÉGRAPHIQUE

Tudor Paris, Tudor Lille, Tudor Rouen, Tudor Nantes, Tudor Lyon, Tudor Toulouse, Tudor Nancy.

COMPTOIR PHOTO-PRATIQUE

Appareils Photographiques et Produits irréprochables



GRANDES FACILITÉS DE PAIEMENT

Pour **toutes les** commandes d'appareils accompagnées de leur montant intégral il est accordé un escompte de caisse de 5 p. 100

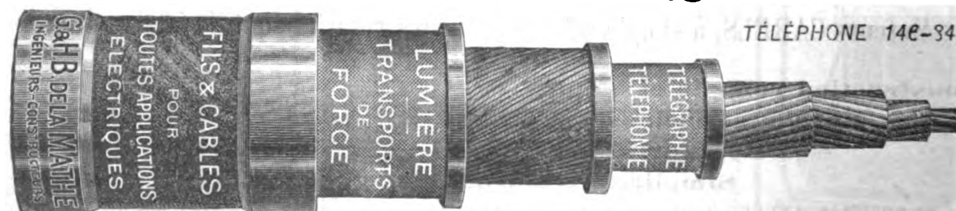
Toutes les Expéditions sont faites franco de port et d'emballage quelle qu'en soit l'importance.

Envoi gratis et **franco** de notre **Catalogue général illustré** ainsi que de notre " **Traité de Photographie** " renfermant environ 300 formules, **à tout** lecteur de **L'Éclairage Électrique** qui nous en adressera la demande.

Adresse : PHOTO-PRATIQUE, Asnières (Seine)

CABLES ÉLECTRIQUES

MAISONS :
LYON
ET
BORDEAUX



G. & H.-B. de la MATHE. Dépôt : 81, rue Réaumur, Paris.

Usines et bureaux à Gravelle-Saint-Maurice (Seine.)

à la construction de tramways électriques, de Rochefort à Tonnay-Charente. Toutefois la transmission du dossier au Conseil d'État est encore arrêtée par des modifications relatives à l'établissement du passage supérieur à substituer au passage à niveau, n° 201, à l'endroit où la route croise la voie ferrée.

Trouville (*Seine-Inférieure*). — Le Conseil vient d'émettre à l'unanimité un avis très favorable au projet de tramway électrique entre Deauville et Honfleur.

Vierzon (*Eure*). — La commission départementale, tout en adoptant les conclusions d'un rapport présenté par M. Arnoux sur le projet d'établissement d'un tramway électrique à Vierzon, donne un avis favorable au tracé empruntant la variante par la gare.

TÉLÉPHONIE

Compteur de durée des conversations téléphoniques. — Ce compteur, imaginé par MM. Parrennin et Marguet est en même temps un avertisseur.

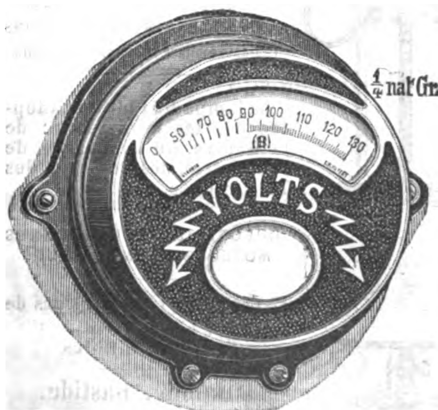
Il se compose d'un mouvement d'horlogerie actionnant à la fois une aiguille mobile sur un cadran et un timbre avertisseur. L'aiguille indique par sa position le temps écoulé depuis l'instant de la mise en marche de l'appareil ; le timbre résonne soit deux minutes et demie soit quatre minutes et demie après cet instant, suivant le réglage que l'on effectue d'ailleurs à volonté par la simple pression d'un bouton.

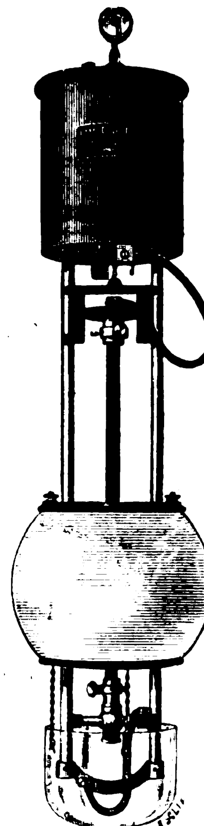
On conçoit immédiatement le mode d'utilisation de l'appareil : on met celui-ci en marche au moment où l'on entre en communication téléphonique et en même temps on pousse le bouton de réglage, dans un sens ou dans l'autre, suivant que le temps accordé pour la communication est de trois ou de cinq minutes ; on se trouve donc averti une demi-minute avant que ce laps de temps soit écoulé, par un coup de timbre.

On peut ainsi, dans beaucoup de cas, se maintenir dans les limites de temps accordées pour le paiement de la taxe simple et par conséquent réaliser une économie assez sensible, lorsque les communications interurbaines sont fréquentes.

ÉCLAIRAGE

Réflecteur Mizery pour lampes à incandescence. — Ce réflecteur est constitué par une coupe en cristal, montée à facettes intérieurement et recouverte extérieurement d'une couche métallique réfléchissante que protège une couche assez épaisse de cuivre. Par suite de ce mode de construction la surface réfléchissante se trouve à





l'abri de toute altération par l'atmosphère et, grâce à la forme des facettes, l'éclairement est uniforme dans toute la zone éclairée. Cet éclairement est d'ailleurs considérable, eu égard à celui que l'on aurait avec la même lampe non munie de réflecteur : d'après des essais faits au Laboratoire central le rapport du dernier éclairement au premier, mesuré suivant l'axe de la lampe, est de 4,2 pour une lampe de 5 bougies et de 3,9 pour une lampe de 10 bougies.

Informations. — *Cherbourg (Manche).* — Dans une lettre adressée par le directeur de la Compagnie Gaz et Eaux au conseil municipal de cette ville, la Compagnie fait connaître les conditions auxquelles elle serait disposée à mettre en exécution les deux projets d'extension du réseau d'éclairage électrique et qui consisteraient, le premier à canaliser la place du Cauchin, le quai Alexandre III, le quai de Caligny, la place Napoléon, la rue de l'Onglet, la rue du Chantier, la place de la Poudrière, la rue Gambetta jusqu'au raccordement avec la canalisation existant actuellement, le second à établir l'éclairage dans le quartier du Val-de-Saire.

La Compagnie Gaz et Eaux demande pour l'établissement du premier réseau un abonnement de 12 lampes pour le prix de 4 500 fr.

La Motte d'Aveillans (Isère). — Le Conseil municipal, dans sa dernière séance, a approuvé la convention concédant à la Société hydro-électrique de Vizille l'éclairage exclusif de la commune pour une durée de quinze années.

Lausanne. — Projet de loi. — La chambre vaudoise du commerce et de l'industrie a décidé, dans sa dernière séance, d'adresser aux diverses sociétés industrielles et commerciales du canton un questionnaire relatif au projet de loi sur l'utilisation des cours d'eau.

Selon le rapport de la Commission législative, le but essentiel d'une loi sur l'utilisation des lacs et cours d'eau doit être :

1° De permettre l'utilisation des forces que la nature met à notre disposition ;

2° De favoriser cette utilisation en donnant à ceux à qui elle est concédée, la garantie qu'ils en retireront un profit sérieux ;

3° De conférer à l'Etat les pouvoirs nécessaires pour contrôler l'exercice des droits concédés sur les lacs et cours d'eau n'appartenant à personne.

Limoges (Haute-Vienne). — La ville de Limoges reçoit actuellement l'énergie électrique de l'usine de Saillant (Corrèze) située à 75 km., ce qui met l'installation au premier rang des transmissions d'énergie à grande distance. On ne peut qu'applaudir à cette tentative hardie d'utiliser les chutes éloignées à une époque où la houille noire tend de plus en plus à faire défaut.

Magnac-Laval (Haute-Vienne). — La municipalité vient de refuser la concession de l'éclairage électrique de cette ville à une société collective qui s'était fondée dans ce but pour concéder le monopole à une société anonyme qui essaie de se créer à Châteauponsac.

BIBLIOGRAPHIE

Mesures électriques, essais de laboratoire, par **Eug. Vigneron,** ancien professeur à l'Ecole supérieure d'Electricité et **P. Letheule**, ingénieur à la Compagnie Thomson-Houston. 1 vol. petit in-8°, 180 p. et 44 fig., de l'Encyclopédie scientifique des Aides-Mémoire. *Gauthier-Villars et Masson et Cie* éditeurs. Prix : broché, 2 fr 50; cartonné, 3 fr.

Ce volume paraît être le résumé des leçons professées à l'Ecole supérieure d'électricité, par M. Vigneron; c'est évidemment à cette origine que sont dues les considérations abstraites du début. Préoccupés de donner à leurs démonstrations un lien mathématique, les auteurs ont été, vu l'exiguïté du format, ce qui n'est pas de leur faute, obligés de condenser les définitions sous une forme qui n'en rend pas la lecture facile à tout le monde; c'est ainsi que la théorie des appareils oscillants, le pont aux ânes de tous ceux qui débutent dans les manipulations, longuement développée au point de vue mathématique, manque de *courbes* pour préciser le sens des équations.

La plus grosse critique que l'on puise faire aux auteurs, c'est d'avoir voulu résumer, dans un si petit espace, un sujet aussi étendu. Néanmoins, si court qu'il soit, ce petit livre justifie bien sa présence dans la collection : c'est un aide-mémoire, ce n'est ni un formulaire ni un manuel. Il est évident que, pour ceux qui savent déjà, ce livre rendra des services, en leur permettant de retrouver la méthode à employer avec des indications générales sur les moyens de procéder.

Au point de vue des méthodes exposées nous pouvons nous permettre quelques critiques sans importance. Au chapitre VI l'étalonnage d'un galvanomètre en volts est fait avec une pile *Leclanché* à grande surface de zinc; c'est un moyen que l'on peut employer à la rigueur, mais avec de grandes précautions, lorsqu'on dispose de ce qu'il faut pour comparer la force électromotrice de cette pile à celle d'un étalon réellement constant ; ce n'est pas un procédé recommandable pour la pratique courante.

Au chapitre IX, la méthode de Thomson pour la comparaison des capacités est indiquée comme pouvant atteindre la précision *théorique* de $\frac{1}{6000}$, avec cette restriction, toutefois, que les variations inégales des charges des deux capacités réduisent beaucoup cette exactitude; il y a là, croyons-nous, une preuve du danger de trop faire fond sur le calcul quand toutes les données d'un problème ne sont pas connues. En réalité toutes les méthodes de zéro, dans la mesure des capacités, sont inexactes par principe, elles donnent des résultats qui ne se ressemblent qu'à la condition d'être obtenus dans des conditions identiques; seule la méthode balistique permet de définir la capacité d'un condensateur, c'est-à-dire la quantité d'électricité qu'il est capable de contenir dans des conditions définies de temps et de potentiel.

Pour terminer signalons la stupéfiante coquille par laquelle le compositeur fait dire aux auteurs que le *mulet* vaut 100 kilogrammètres par seconde; il faut, naturellement, lire Poncelet, mais l'idée n'en vient pas tout de suite. Cet exemple est unique car la composition de l'ouvrage est bonne, comme tout ce qui sort des maisons Gauthier-Villars et Masson. H. ARMAGNAT.

Cinématique et mécanismes, potentiel et mécanique des fluides : cours professé à la Sorbonne par **M. H. Poincaré**, Membre de l'Institut, rédigé par A. GUILLET. *Georges Carré et Naud.*

Les leçons sur la cinématique et les mécanismes professées à le Sorbonne par M. H. Poincaré ont une faible partie se rapportant à l'électricité, et une longue bibliographie serait peut-être un peu déplacée ; nous devons signaler toutefois que la théorie de potentiel fait l'objet de trois des chapitres du livre.

La théorie de potentiel et le théorème de Green constitue une des parties les plus importantes de l'électricité technique et servent en somme d'introduction à l'étude de la physique mathématique.

M. H. Poincaré est un des savants qui ont le plus contribué aux progrès de la physique mathématique, aussi les lecteurs pourront-ils espérer trouver dans la partie des leçons consacrée au potentiel un résumé des connaissances préliminaires nécessaires à l'étude de l'électricité.

Le reste de l'ouvrage, la cinématique, le mécanisme, la mécanique des fluides et surtout l'hydromécanique pourront également être étudiés avec fruit par les électriciens.

L'ensemble est présenté avec la clarté et la concision qui font de son auteur un des maitres les plus écoutés de la Faculté des Sciences de Paris. C. F. GUILBERT

Les mouvements de roulement en dynamique, par **M. P. Appell**. Collection Scientia. *Georges Carré et Naud*, Editeurs, Paris.

La collection « Scientia » éditée par les soins de MM. Carré et Naud a pour but de réunir et coordonner toutes les idées générales émises sur une question déterminée.

La rédaction de chacun des opuscules est confiée aux savants les plus distingués. Parmi les livres parus, celui de M. Appell, l'éminent professeur à la Sorbonne, sur les mouvements de roulement en dynamique, présente un grand intérêt pour ceux qui s'intéressent aux questions techniques relatives à l'automobilisme et aux cycles.

L'opuscule de M. Appell est terminé par les reproductions de deux notes de M. Hadamard, l'une sur les mouvements de roulement et l'autre sur certains systèmes d'équations aux différentielles totales. J. REYVAL.

Les unités électriques et leur mesure en valeur absolue. — Cours de physique mathématique professé à la Sorbonne, par **M. Lippmann,** membre de l'Institut; rédigées par A. BERGET, docteur ès sciences. 1 vol. in-8° raisin de 230 pages, avec figures, broché. *Georges Carré* et *C. Naud*, éditeurs. Prix : 10 fr.

Les Oscillations électriques. — Leçons professées à la Sorbonne, par **H. Poincaré**, membre de l'Institut, rédigées par CH. MAURAN, ancien élève de l'École normale supérieure, agrégé de l'Université, revues par le professeur. 1 vol. in-8° raisin de 350 pages, avec figures, broché. *Georges Carré* et *C. Naud*, éditeurs. Prix : 12 fr.

Leçons sur l'électricité, (électrostatique, pile, électricité atmosphérique), par **H. Pellat**, maître de conférences à la Faculté des sciences de Paris : rédigées par J. BLONDIN, agrégé de l'Université. 1 vol. in-8° de 415 pages, avec 142 figures, broché. *Georges Carré* et *C. Naud*, éditeurs. Prix : 12 fr.

Tome XXIII Samedi 5 Mai 1900. 7e Année. — N° 18.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

Adresser tout ce qui concerne la Rédaction à M. J. BLONDIN, 171, Faubourg-Poissonnière (9e arrondissement).

APPAREILS DE MESURES

Syndicat professionnel des Industries électriques (*séance du 10 avril*). La séance est ouverte à 5 heures sous la présidence de M. E. Sartiaux. Parmi les diverses questions qui ont été discutées signalons :

La fixation de la date du banquet annuel. — Les anciens présidents étant d'avis de reporter ce banquet à l'époque du Congrès des électriciens, et d'y faire participer les diverses sociétés électriques, les ingénieurs, constructeurs, et savants étrangers, la Chambre adopte cette manière de voir.

La création de commissions arbitrales. — Dans la précédente séance on avait discuté l'opportunité de la création de commissions arbitrales pour le règlement des litiges de peu d'importance. La discussion de cette question est reprise et, après un échange d'observations entre les membres présents, la Chambre estime qu'il n'y a pas lieu de créer de commissions arbitrales, mais de maintenir l'organisation habituelle.

Sur un point de la loi des accidents du travail. — Le Président attire l'attention des membres du syndicat sur un article de la loi de finances de 1900, votée récemment par la Chambre et par le Sénat.

L'article 29 de la loi sur les accidents du travail du 9 avril 1898 prévoyait que « dans les six mois de la promulgation de la présente loi, un décret déterminerait les émoluments des greffiers de justice de paix pour leur assistance et la rédaction des actes de notoriété..., ainsi que les frais de transports auprès des victimes et d'enquête sur place ». L'opinion générale était que ces frais devaient être soldés au moyen du fonds spécial de garantie déterminé par l'article 25 de la même loi qui frappe de 4 centimes additionnels le principal de la contribution des patentes des industriels et de 5 centimes par hectare le territoire concédé aux exploitations minières. Un article additionnel de la loi de finances de 1900 mettant ces frais au compte des industriels, le Président estime qu'il y aurait lieu de présenter l'année prochaine (il est trop tard cette année, la loi étant promulguée) une protestation énergique contre cet article additionel, article absolument contraire à l'esprit de la loi de 1898 et qui ajoute de nouvelles charges à celles déjà lourdes imposées par cette loi à l'industrie. Il propose donc de s'entendre avec d'autres Chambres syndicales pour présenter des observations collectives.

La fourniture et la pose des appareils téléphoniques par les ouvriers de l'Etat. — Un peu partout et en province surtout les ouvriers de l'Administration des Postes et Télégraphes utilisent leurs moments perdus pour montage chez les particuliers des appareils téléphoniques ou autres. N'ayant ni frais généraux, ni patentes et déjà rétribués par l'Etat ces ouvriers travaillent à des conditions meilleures que les constructeurs. La Chambre décide de faire auprès de M. Mougeot les démarches nécessaires pour faire cesser cet état de choses.

Le siège social. — La Chambre ouvre un crédit de 1 000 francs pour le paiement de 3 mois de location d'avance d'un appartement situé rue Saint-Lazare, et qui servira également de siège social à l'Association amicale des ingénieurs électriciens.

Les cours de M. Laffargue. — La Chambre autorise une dépense de 105 francs pour rembourser an Laboratoire central d'électricité les frais d'expériences occasionnés par la visite des élèves du cours de M. Laffargue.

Association amicale des Ingénieurs-Electriciens (*séance du 24 avril 1900*). La séance a lieu sous la présidence de M. E. Sartiaux, président.

Présents : MM. Solignac, Loppé, Guilbert, Isbert, Blondin, Bancelin, A. Lévy, Véry, Pulsford, Brocq, Eschiwège, Planzol, Hérard, Boistel, Lainnet, Kriéger, La Valette, J. Laffargue.

Le procès-verbal de la dernière séance est lu et adopté.

M. le président parle du changement de siège social. Un nouveau local a été trouvé 11, rue Saint-Lazare; il sera aménagé par les soins du Syndicat des industries électriques. Le bureau propose de voter une location annuelle de 1 200 fr payable par trimestre. Adopté.

Pour ce qui concerne les réunions mensuelles à l'Exposition, M. le président a trouvé la maison Bachelier et Cie, près du Château d'Eau, qui consent à nous donner le même menu pour 4 fr 50. La proposition de deux réunions par mois, le 2e et le 4e mardi, est adoptée.

Le banquet de l'Exposition sera organisé en commun avec les autres associations similaires; pour couvrir les frais, on est d'avis d'augmenter la cotisation.

M. le président trace un programme de rédaction du bulletin pendant l'Exposition.

M. le président donne lecture d'une note sur l'opportunité et l'utilité de la préparation de conseils techniques destinés à faciliter la rédaction des conditions à imposer pour la construction ou établissement des différents appareils propres à la production et à l'utilisation de l'énergie électrique.

M. le président fait part d'une lettre de M. J. Laffargue, qui annonce que les examens de ses cours sont terminés et qui demande une subvention pour récompenses à accorder; une somme de 100 fr est votée.

M. le président propose que l'Association fasse partie de la Société de Secours des amis des sciences; le prix de l'adhésion est de 10 fr. Adopté.

La séance est levée à 2 heures.

EXPOSITION UNIVERSELLE

Congrès international de Physique. — Ainsi que nous l'avons annoncé antérieurement (*Supplément* du 15 juillet 1899, t. XX, p. XIV), le Congrès organisé par la Société de Physique, se réunira le 5 août prochain au Palais des Congrès de l'Exposition. Les séances ultérieures se tiendront du 6 au 12 août à l'hôtel de la Société d'Encouragement, 44, rue de Rennes, siège de la Société de Physique. Nous appelons l'attention de nos lecteurs sur ce Congrès, qui grâce au zèle de la commission d'organisation, présidée par M. Cornu, aura certainement une importance exceptionnelle.

Le programme des travaux du Congrès comporte trois parties : 1° Communications diverses et conférences sur quelques questions nouvelles ; 2° Visites à l'Exposition, à des laboratoires, à des ateliers ; 3° Rapports et discussions sur des sujets arrêtés à l'avance.

C'est de cette dernière partie que la Commission s'est préoccupée tout d'abord.

« Elle a estimé qu'il y aurait un très grand intérêt à étendre, dans la mesure la plus large, la liste des sujets qui doivent faire l'objet des rapports. Alors même que certaines questions se prêteraient peu à une discussion orale, il serait sans doute fort utile, pour toutes les personnes qui s'intéressent à la physique, de lire un exposé critique, succinct et précis, de l'état actuel de la science sur tous les sujets les plus importants. »

Déjà soixante savants, parmi lesquels nous relevons les noms de MM. d'Arsonval, Bichat, Blondelot, Bouty, Brillouin, Griffiths, Hagenbach, Rubens, Voigt, etc., ont déjà promis leur collaboration et accepté d'écrire les rapports qui leur ont été demandés. Ne pouvant donner ici les titres de tous ces rapports, nous donnons seulement ceux qui intéressent plus particulièrement les électriciens.

Ames. — L'équivalent mécanique de la calorie.

Arrhenius. — Electrolyse et ionisation.

Arsonval (d'). — Les courants de haute fréquence dans l'organisme.

Barus. — Pyrométrie.

Becquerel. — Rayons uraniques.

Bichat (Swyngedauw et). — Phénomènes actino-électriques.

Blondlot (Gutton et). — Vitesse des ondes électriques.

Bouty. — Les diélectriques gazeux.

Branly. — Variation de résistance des tubes à limaille.

Christiansen. — Electricité de contact.

Cornu. — Vitesse de la lumière.

Curie (M. et Mme). — Les nouvelles substances radioactives et les rayons de Becquerel qu'elles émettent.

Drude. — Propriétés optiques des métaux.

Du Bois. — Propriétés magnétiques des corps.

Exner. — Electricité atmosphérique.

Gouy. — L'étalon de force électromotrice.

Guillaume. — Décisions internationales concernant les unités et la nomenclature. — Propositions diverses.

Griffiths. — L'unité de chaleur.

Hurmuzescu. — Détermination de v.

Lang (von). — L'arc électrique

Leduc. — Equivalent électrochimique de l'argent.

Lippmann. — L'échelle absolue des températures.

Lummer. — L'émission des corps noirs, des solides et des liquides.

Lorentz. Magnéto-optique.

Pellat. — Laboratoires nationaux.

Poincaré (H.). — Rapports entre la physique expérimentale et la physique mathématique.

Poincaré (L.). — Théories de la pile voltaïque.

Potier. — Les courants polyphasés.

Poynting. — Théorie de la propagation de l'électricité.

Righi. — Les ondes hertziennes.

Thomson (J.-J.). — Décharges électriques dans les gaz.

Villard. — Rayons cathodiques.

Warburg. — L'hystérésis magnétique.

Wien (W.). — Température et entropie de la radiation.

Witz. — Progrès récents de la théorie des moteurs thermiques.

On voit que la liste des travaux concernant l'électricité est déjà longue et encore elle n'est pas complète. La plupart de ces rapports, qui seront tous écrits en français, pourront, sur demande et avant l'ouverture du Congrès, être communiqués en épreuves aux personnes qui s'intéressent plus spécialement à certains sujets. Ils seront ensuite tous réunis en un volume qui sera distribué *gratuitement* à tous les membres alors même que les circonstances les auraient empêchés d'assister aux séances. Ce volume sera mis en vente, mais seulement après le Congrès et à un prix supérieur au prix de la carte du Congrès fixé à 20 fr.

Le montant de la cotisation peut être adressé dès

maintenant à M. de la Touanne, trésorier du Congrès, 8, rue de Tournon, à Paris, soit par la poste, soit par l'intermédiaire du Crédit Lyonnais. La carte de congressiste donne en outre droit : 1° A la participation à tous les travaux, visites et conférences ; 2° A la réception du compte-rendu des travaux : 3° A la distribution des cartes supplémentaires à prix réduits permettant aux membres de la famille de chaque congressiste d'assister à certaines séances et à certaines visites. Ajoutons que les communications doivent être adressées à M. Ch.-Ed. Guillaume, secrétaire pour l'étranger au pavillon de Breteuil, Sèvres (S. O.), ou à M. Poincaré, secrétaire pour la France, boulevard Raspail, 105 *bis*, à Paris.

Congrès international de chronométrie. — Ce congrès s'ouvrira le 28 juillet à l'observatoire de Paris.

Parmi les questions mises au programme par le comité d'organisation, présidé par le vice-amiral de Fauque de Jonquières, signalons la transmission et distribution de l'heure, la décimalisation du temps, les applications de la chronométrie à la science (instruments enregistreurs) le réglage des instruments chronométriques, questions dans lesquelles l'électricité vient en aide à la chronométrie ou inversement la chronométrie met ses appareils au service de l'électricité.

La cotisation est fixée à 20 fr.; elle doit être adressée à M. Paul Garnier, trésorier, 16, rue Taitbout.

Congrès international de l'Art théâtral. — Il se tiendra du 27 au 31 juillet et comprendra trois sections; la deuxième section relative à l'éclairage et à la machinerie est de nature à intéresser certains électriciens spécialistes.

Eclairage : 1° Distribution générale de la lumière électrique ou du gaz dans un théâtre ; 2° Répartition de la lumière dans une salle de théâtre et moyens d'éclairage; 3° Eclairage de la scène, système de jeux d'orgue et matériel, effets de scène, projections ; 4° Distribution de l'énergie électrique, canalisations, tableaux, appareils de mesure et de sûreté ; 5° Règlements publics sur l'installation de l'éclairage électrique dans les théâtres, fonctionnement des commissions techniques.

Machinerie : 1° Construction générale de la scène, matériaux à employer ; 2° Systèmes divers de scènes, machineries commandées par la force hydraulique ou l'énergie électrique, plateaux tournants, ascendants, glissants, etc. ; 3° Installation des trappes, trucs, fermes, pouliages et cordages ; 4° Construction des décors, leur manœuvre, etc.

Les adhésions à ce Congrès doivent être adressées à M. Raoul Charbonnel, secrétaire général de la Commission d'organisation, 168, rue de Grenelle, Paris.

La cotisation des membres adhérents est de 10 fr.

Abonnements aux téléphones. — Les abonnements au téléphone dans l'enceinte de l'Exposition sont soumis aux conditions indiquées ci-dessous. L'administration invite les exposants qui sont dans l'intention de contracter un abonnement à s'inscrire dans le plus bref délai afin que les raccordements puissent être exécutés sans aucun retard. La date de départ de l'abonnement sera d'ailleurs fixée au gré de l'abonné et celui-ci ne sera tenu de verser le montant de son abonnement que dans les huit jours qui précéderont la date qu'il aura assignée pour la mise en service de son poste.

I. *Durée des contrats.* — Des abonnements au téléphone sont concédés, à partir du 1er décembre 1899 et pour une durée minimum de six mois, aux exposants et aux personnes établies dans l'enceinte de l'Exposition. Ils sont renouvelables de mois en mois par tacite reconduction et prennent fin obligatoirement le 20 décembre 1900.

II. *Prix de l'abonnement.* — Le prix de l'abonnement est de 150 fr pour une durée de six mois et de 25 fr pour chaque mois en sus.

III. *Appareils.* — Un poste téléphonique complet est mis par l'administration à la disposition des abonnés qui en font la demande, moyennant une

redevance de location de 10 fr par poste, quelle que soit la durée de l'abonnement.

IV. *Cartes de cabines.* — Il est concédé des cartes d'admission aux cabines téléphoniques publiques installées dans l'enceinte de l'Exposition et permettant de communiquer gratuitement avec les abonnés et les postes publics du réseau de Paris; le prix de ces cartes, valables pendant la durée du fonctionnement des cabines, est fixé uniformément à 20 fr; elles sont délivrées au Bureau des Abonnements téléphoniques, 103, rue de Grenelle, ou au Bureau central des Postes et des Télégraphes de l'Exposition.

V. *Souscription des contrats.* — Les contrats d'abonnement seront souscrits et les versements effectués, au gré des intéressés, soit au Bureau des Abonnements téléphoniques, 103, rue de Grenelle, soit au Bureau central des Postes et des Télégraphes de l'Exposition.

Les pièces nécessaires à la souscription des abonnements sont envoyées à domicile sur demande adressée *(sans affranchir)* à M. le Directeur des services électriques de la région de Paris, 103, rue de Grenelle.

Protection de la propriété industrielle des objets exposés. — Le 30 décembre dernier a été promulguée la loi suivante, relative à la propriété industrielle des objets exposés :

Article premier. — Toute personne jouissant en France d'un droit privatif en vertu des lois sur la propriété industrielle, ou ses ayants droit, pourra, sans encourir la déchéance de son privilège, faire figurer à l'Exposition universelle de 1900 à Paris et introduire à cet effet sur le territoire français des objets fabriqués à l'étranger et semblables à ceux qui sont garantis par son titre, si ces objets ont été régulièrement admis à ladite Exposition.

Art. 2. — Toutefois la déchéance prévue par les lois en vigueur sera encourue si les objets visés à l'article premier ne sont pas réexportés dans le délai de trois mois à dater du jour soit de la clôture officielle de l'Exposition, soit de l'ordre d'enlèvement antérieur qui aurait été signifié aux intéressés par les autorités compétentes.

Art. 3. — Toute personne qui aura fait figurer à l'Exposition universelle de 1900 un objet semblable à celui qui est garanti par son titre de propriété industrielle, sera considérée en tant que de besoin, comme ayant exploité en France sa découverte ou son invention pendant la durée de l'Exposition.

Le délai prévu par les lois sur la propriété industrielle, et à l'expiration duquel la déchéance est encourue, à défaut d'exploitation, courra de nouveau à partir soit de la clôture officielle de l'Exposition, soit de l'ordre d'enlèvement antérieur qui aurait été signifié aux intéressés par les autorités compétentes.

Art. 4. — Les objets figurant à l'Exposition universelle de 1900 qui seraient argués de contrefaçon ou qui porteraient des marques ou d'autres indications prohibées ne pourront y être saisis que par description.

Toutefois, les objets admis à l'Exposition, circulant en France à destination ou en provenance de l'Exposition, ou y figurant, ne pourront être saisis, même par description, si le saisissant n'est pas protégé dans le pays auquel appartient le saisi.

La saisie cesse d'être interdite si ces objets sont vendus en France ou s'ils ne sont pas réexportés dans le délai fixé à l'article 2.

Cette loi se trouve complétée par l'avis suivant, adressé récemment par le Ministère du Commerce et indiquant les formalités à remplir pour l'obtention des certificats descriptifs.

Les personnes admises à l'Exposition universelle de 1900 sont informées qu'elles peuvent se faire délivrer par le préfet de la Seine, conformément aux dispositions de la loi du 23 mai 1868, des certificats descriptifs des objets déposés.

Ces certificats assurent à ceux qui les obtiennent les mêmes droits que leur conférerait un brevet d'invention ou un dépôt légal de dessin de fabrique à dater du jour de l'admission jusqu'à la fin du troisième mois qui suivra la clôture de l'Exposition, sans préjudice du brevet qu'ils peuvent prendre ou du dépôt qu'ils peuvent opérer avant l'expiration de ce terme.

Chaque demande doit être accompagnée d'une description exacte de l'objet, et, s'il y a lieu, d'un plan ou d'un dessin; les intéressés doivent en outre justifier que l'objet pour lequel ils demandent un certificat a été admis dans l'enceinte de l'Exposition.

Les demandes doivent être faites au plus tard dans le premier mois de l'ouverture de l'Exposition, c'est-à-dire avant le 15 mai 1900, l'ouverture de l'Exposition ayant eu lieu le 15 avril.

La délivrance des certificats est gratuite.

AVIS

BREVETS D'INVENTION

RÉCEMMENT PUBLIÉS

BF : Brevet français. — BP : Patente anglaise — DRP : Patente allemande — USAP : Patente américaine.

La liste des brevets français est communiquée par l'Office E. Barrault, 17, Boulevard de la Madeleine, Paris.

Dynamos et moteurs.

Machines électrostatiques. — Dodd (W.) et Struthers (A.-O), 646 418. USAP, 14 juillet 1899. Machine électrostatique.

Machines dynamos. — Daten et Hultqvist. 645 943, USAP, 5 octobre 1899. Machines dynamos.

Lamme (B.-G.). 646 092, USAP, 30 juin 1899. Machine dynamo.

Reist (H.-G.). 644 684, USAP, 27 octobre 1899. Machine dynamo.

Jenot. 294 467, BF, 18 novembre 1899. Dynamo à courant continu sans collecteurs ni balais, pouvant fonctionner comme moteur, générateur ou transformateur.

Leiser et Anger. 294 524, BF, 21 nov. 1899. Générateur respectivement moteur à courants continus à anneau en armature sans commutateur et à aimants avec commutateur.

Burke (J.). 109 941, DRD, 25 juin 1899. Procédé de fabrication d'induit denté.

Schmutz. 24 970, BP, 1899. Balais électriques.

Thomson (Elihu). 646 476, USAP, 5 mai 1897. Balai en charbon.

British Thomson-Houston C° (Ltd). 21 666, BP, 1899. Commutateur automatique pour convertisseurs rotatifs et alternateurs.

British Thomson-Houston C° (Ltd). 25 744 - 747, BP, 1899. Dispositif de sûreté pour machines dynamos.

Honeywood. 4 078, BP, 1899. Machine-outil pour tourner les commutateurs des génératrices.

Neeley (G.-S.). 646 309, USAP, 7 juin 1898. Régulateur automatique pour alternateur.

Steinmetz (C.-P.). 645 674, USAP, 15 décembre 1899. Régulation des machines dynamos électriques.

Transformateurs. — Arnold (D.). 644 565, USAP, 23 décembre 1898. Transformateur.

Moody (Walter S.). 646 500, USAP, 27 août 1897. Transformateur.

Wydts (A.) et Weissmann (G.). 645 774, USAP, 12 mai 1899. Transformateur de courant continu.

Blathy. 294 360, BF, 15 novembre 1899. Formation de canaux de ventilation dans les noyaux magnétiques des transformateurs et appareils analogues.

Leimer. 294 644, BF, 24 novembre 1899. Perfectionnements dans la construction de transformateurs actionnés par des courants continus intermittents.

Fessenden (A.-A.). 644 972, USAP, 19 mars 1897. Bobine d'induction pour rayons X.

Moteurs. — Joel (H.-F.). 646 147. USAP, 4 février 1899. Moteur électrique.

Neeley (G.-S.). 646 309, USAP, 7 juin 1898. Moteur d'induction.

Rhodes (W.-G.). 645 130. USAP, 22 novembre 1899. Moteur à courants alternatifs.

Browning manufacturing C°. 1 147, BP, 1900. Moteur électrique pour appareil de dentiste.

Short (S.-H.). 646 467, USAP, 15 octobre 1898. Monture de moteur.

Cantoni (E.). 645 247, USAP, 7 juillet 1899. Procédé de démarrage des moteurs monophasés synchrones et asynchrones.

British Thomson-Houston C°. 25 449, 25 750, BP, 1899. Appareil de contrôle de moteurs électriques.

Harfield (W.-H.). 646 169, USAP, 16 janvier 1899. Appareil pour contrôler électriquement moteurs et autres machines.

Eck. 4 941, BP, 1899. Régulateur de moteurs électriques.

Merrick (F.-A.). 645 116, 117, USAP, 19 avril 1899. Régulateur de moteurs électriques.

Hamlen (W.-R.). 645 088, 089, USAP, 18 avril 1899. Régulateur de moteurs électriques.

Earle. 5 392, BP, 1899. Commutateur de réglage pour moteurs.

Day (M.-W.). 644 666, USAP, 17 décembre 1898. Combinateur pour moteurs électriques.

Divers. — Thomson (Elihu). 645 675, USAP, 26 décembre 1899. Appareil à haut potentiel.

Dawson. 295 022, BF, 7 décembre 1899. Accouplement à friction spécialement applicable aux machines électriques magnétiques ou autres.

Gibbs. 18 776, BP, 1899. Dispositif d'accouplement des génératrices aux machines motrices.

Piles et accumulateurs.

Piles. — Baat (F.-B.). 645 992, USAP, 4 avril 1898. Pile primaire.

Encausse et Encausse. 3 469, B P, 1899. Pile primaire.
Fontaine. 25 011, B P, 1899. Pile primaire.
Botz (Wilhelm). 645 547, U S A P, 1er avril 1899. Pile sèche.
Bentz (H.). 646 793, U S A P, 9 novembre 1899. Batterie galvanique pour appareils médicaux.
Rawson. 294 230, B F, 11 novembre 1899. Perfectionnements apportés aux batteries voltaïques fonctionnant au moyen d'un sel fondu.
Anderson. 294 280, B F, 14 novembre 1899. Production de la force électrique par voie chimique.
Société des piles électriques. 294 923, B F, 4 décembre 1899. Procédé de dépolarisation par circulation rapide et continue du liquide préférablement chaud.
Jungner (E.-W.). 110 210, D R P, 31 mars 1899. Elément galvanique primaire employé comme secondaire avec électrolyte de conductibilité invariable.
De Rutz de Levison, 109 845, D R P, 31 mai 1899. Electrode négative pour élément galvanique.

Accumulateurs. — Blumenberg et Overbury. 646, 348, U S A P, 1er décembre 1898. Accumulateur.
Cogswell (Henry-J.). 646 894, U S A P, 5 février 1900. Accumulateur.
Gesner (George-Weltden). 646 552, U S A P, 8 décembre 1899. Accumulateur.
Gladstone et Beckett. 5 647, B P, 1899. Accumulateur.
Kennedy (Patrick). 645 750, U S A P, 16 mars 1899. Accumulateur.
Leitner (Henry). 645 478, U S A P, 25 mars 1898. Accumulateur.
Niblett et Sutherland. 8 358, B P 1899. Accumulateur.
Rufus (N.) Chamberlain. 645 640, U S A P, 29 août 1899, Accumulateur.
Silvey (W.-L.). 645 978, U S A P, 20 novembre 1899. Accumulateur.
Sperry (Elmer A.). 646 922, U S A P, 19 octobre 1898. Accumulateur.
Cheval et Lindeman. 294 255, B F, 13 novembre 1899. Accumulateur Cheval-Lindeman.
Renaud. 295 006, B F, 6 décembre 1899. Nouvel accumulateur électrique.
Lake (M. Cartney). 675, B P, 1900. Batteries électriques.
Monnier. 294 995, B F, 6 décembre 1899. Perfectionnements aux piles secondaires.
Perrin. 294 796, B F, 29 novembre 1899. Perfectionnements apportés aux accumulateurs.
Riasse et Sengeisen. 294 315, B F, 14 novembre 1899. Perfectionnements dans les accumulateurs.
Julien. 294 221, B F, 11 novembre 1899. Electrode d'accumulateurs au plomb d'une disposition nouvelle.
Pallavicini. 25 721, B P, 1899. Plaques d'accumulateurs.
Société Berliner Accumulatoren U. Elec. G. 294 616, B F, 23 novembre 1899. Fabrication d'électrodes d'accumulateurs.
Sperry (E.-A.). 646 325, U S A P, 22 avril 1899. Récipient pour pile ou accumulateur.
Sperry (Elmer A.). 646 923, U S A P, 7 octobre 1899. Enveloppe de cellulose pour accumulateurs.
Wilde et Co. 109 881, D R P, 5 avril 1899 Support à auges pour électrodes d'accumulateurs.

Distribution.

Lamme (B.-G.). 644 865, U S A P, 14 juin 1899. Système de distribution électrique.
Reed (C.). 645 008, - 009, U S A P, 17 juillet 1899. Système de protection électrique.
Reed (W.-B. et L.-C.). 645 011-14, U S A P, 21 août, 13, 15 septembre et 6 octobre 1899. Système souterrain de distribution électrique.
Tesla (Nikola). 645 576, U S A P, 2 septembre 1897. Système de transmission de l'énergie électrique.
Westinghouse (G.). 645 612, 613, U S A P. 11 janvier et 13 novembre 1899. Méthode et appareil pour la distribution de l'énergie.
Kœchlin. 294 331, B F, 15 novembre 1899. Appareil combinateur automatique de circuits électriques.
Société anonyme pour la transmission de la force par l'électricité. 7 618, B P, 1899. Appareil électrique pour diminuer la self-induction apparente des circuits à courants alternatifs et son emploi comme condensateur.
Edmunds. 8 052, B P, 1899. Dispositif pour régulariser les circuits électriques.
Lamme (B.-G.). 644 864, U S A P, 6 octobre 1898. Régulation de la force électromotrice.
Koppelmann, 23 829, B P, 1899. Système pour la production de courants électriques à potentiel constant.
Elektrizitæts A.-G. V. Schuckert et Co, 110 166, D R P, 30 avril 1899. Dispositif de protection pour conduites de courants polyphasés pour la mise hors circuit de tous les conducteurs dans le cas de défectuosité d'une branche.
Myers (M.-J.). 645 603, U S A P, 17 juin 1896. Dispositif pour localiser les terres dans les circuits électriques.
Bunnell (J.-H.). 644 844, U S A P, 18 novembre 1899. Tableau de distribution.

Appareillage.

Whalley. 6 322, B P 1899. Câbles électriques.
Kreider. 294 515, B F, 21 novembre 1899 Machine pour enrober les fils métalliques.
Jacques (J.-W.-L.). 644 921, U S A P, 27 novembre 1899. Attache de câbles.
Knudson (A.-A.). 646 742, U S A P, 15 décembre 1899. Connecteur pour feeders principaux.
Gartner (A.). 646 573, U S A P, 8 février 1900. Connecteur de fils.
Sreland (R.-D.). 646 179, U S A P, 12 janvier 1897. Dispositif de contact électrique.
Pfatischer. 646 009, U S A P, 24 novembre 1899. Dispositif pour connexions électriques.
Richmondt (C.-B.). 645 187, U S A P, 20 nov. 1899. Conduite tubulaire.
Greenfield (E.-T.). 644 858, U S A P, 18 décembre 1899. Dispositif pour donner de la rigidité aux conduites flexibles.
Cummings (J.-F.). 644 794, U S A P, 22 juillet 1899. Forme pour la pose des conduites à conducteurs électriques.
Creveling (J.-L.). 646 068, U S A P, 10 juin 1899. Commutateur.
Jones. 6 819, B P, 1899. Commutateur.
Hart (G.-W.). 646 146, U S A P, 21 juin 1899. Commutateur.
Marsh et Vandam. 11 682, B P, 1899. Commutateur.
Marshall (N.). 644 745, U S A P, 25 avril 1899. Commutateur.
Murphy. 3 746, B P, 1899. Commutateur.
Tournier (J.-C.). 645 984, U S A P, 25 septembre 1899. Commutateur.
Waterhouse and Simplex Steel conduit Co (Ltd). 2 120, B P, 1900. Commutateur.
Watson. 8 726, B P, 1899. Commutateur.
Liedscher (E.). 646 744, U S A P, 22 décembre 1899. Commutateur de lampes.
Hart (G.-W.). 645 092, U S A P, 21 avril 1899. Commutateur à deux boutons.
Kelley (G.-O.). 646 839, U S A P, 20 novembre 1899. Commutateur de service pour système d'éclairage électrique.
Hammer (Ed.-W.). 645 809, U S A P, 29 août 1899. Commutateur manœuvrable à distance.
Hewlett (E.-M.). 645 684, U S A P, 30 déc. 1898. Commutateur manœuvrable à distance.
Rottebohm Co. 110 140, D R P, 7 mai 1899. Commutateur à augets avec signal.
Edmunds. 8 053, B P, 1899. Commutateur pour effectuer automatiquement la rupture d'un circuit électrique après un temps donné à l'avance.
Allemann. 294 222, B F, 11 novembre 1899. Commutateur pour interrompre et fermer automatiquement un circuit à des heures prédéterminées.
Hoffmann (P.). 109 906, D R P, 7 juin 1898. Commutateur électromagnétique avec interruption automatique au bout d'un temps déterminé.

Allgemeine E.-G., 109955, DRP, 6 avril 1899. Commutateur pour courants intenses avec interruption par fusible.

Hoffmann. 294 390, BF, 16 novembre 1899. Commutateur électromagnétique.

Ely. 295 158, BF, 12 décembre 1899. Perfectionnements dans les commutateurs électriques.

Raison commerciale Fried. Krupp. 294 807, BF, 30 novembre 1899. Contact en charbon pour commutateurs électriques et autres.

Crompton et C° (Ltd) et Dix. 7 584 BP, 1899. Commutateur et coupe-circuit.

Dorman Smith et Baggs. 729, BP, 1900. Commutateurs et coupe-circuits.

Von Zweigbergk (T.). 646 485, USAP, 26 janvier 1897. Commutateur à renversement et coupe-circuit.

Reed (C.). 645 010, USAP, 5 août 1899. Coupe-circuit.

Stinson (D.-W.). 644 878, USAP, 3 juillet 1899. Coupe-circuit automatique.

Peebles. 7 800, BP, 1899. Coupe circuit fusible.

Siemens et Halske Aktien-Gesellschaft. 25 019, BP, 1899. Coupe-circuit fusible.

Gover et Moffat. 261, BP, 1900. Fusible de sûreté.

Davis (H.-P.). 644 850, USAP), 30 janvier 1899. Bloc fusible.

Ducretet. 294 602, BF, 23 novembre 1899. Interrupteur rotatif électrique.

Simon. 10 164, BP, 1899. Interrupteur pour circuits électriques.

Lecarme (Louis et Jean). 294 840, BF, 1er décembre 1899. Perfectionnement aux interrupteurs pour courants électriques.

Allemann. 294 450, BF, 18 novembre 1899. Appareil pour interrompre automatiquement un circuit électrique lorsque l'intensité du courant a dépassé un maximum prédéterminé.

Berner (W.-H.). 109 797, DRP, 15 avril 1899. Fiche tripolaire.

Cerebotani (L.). 646598, USAP, 14 octobre 1899. Relais.

Nixon, 21 780, BP, 1899. Relai électrique.

Nixon. 293875, BF, 31 octobre 1899. Perfectionnements apportés aux relais automatiques.

Flohr et Dietze. 11 436, BP, 1899. Rhéostat.

Holmes et Broadbent. 4 801, BP, 1899. Résistance pour circuits électriques.

Cowans (Ltd). 8 312, BP, 1899. Bobine de résistance.

Scott, Varley et Anderson. 1 863 et 1 864, BP, 1900. Hélices et bobines pour usage électrique.

Langton (J.). 646 149 et 646 150, USAP, 21 juin et 1er août 1899. Dispositif de protection pour connexions électriques.

Reed (L.-C.). 645 007, USAP, 17 juillet 1899. Dispositif de protection pour courants de haute tension.

Applications mécaniques.

Eickemeyer (C.). 644 852, USAP, 27 juillet 1899. Pompe électrique.

Lagny. 295 165, BF, 12 décembre 1899. Nouveau mode de guidage des âmes dans les métiers à guiper rectilignes ou circulaires.

Compagnie générale de travaux d'éclairage et de force. 295 125, BF, 11 décembre 1899. Système d'embrayage avec débrayage automatique à fin de course.

Guénée. 294 697, BF, 27 novembre 1899. Electro-aimant puissant à longue course.

Delaveau. 294334, BF, 15 novembre 1899. Système d'électro-aimant cuirassé avec armature ou noyau central mobile à longue course.

Cutler. 294 312, BF, 14 novembre 1899. Perfectionnements apportés aux appareils électromagnétiques.

Kreuser. 2 849, BP, 1899. Appareil électromagnétique pour la séparation des minerais.

Mc Cabe et Goughenour. 1 009, BP, 1900. Serrures manœuvrées électriquement ou magnétiquement.

Jones (B.-M.). 645 103, USAP, 21 juillet 1899. Dispositif de commande à distance d'un rhéostat.

Bezer (H.). 644790, USAP, 22 juillet 1893. Signaux de chemin de fer.

Continental Hall Signal C°. 3 597, BP, 1899. Signaux électriques de chemin de fer.

Shœcraft (J.). 644 639, USAP, 8 avril 1899. Signaux de chemin de fer.

Stimpson (C.-A.). 645 839, USAP, 8 août 1899. Signaux pour chemins de fer.

Taylor (H.-B.). 646 714, USAP, 22 novembre 1899. Signaux de chemin de fer.

Wayland (J.). et Taylor (H.-B.). 646717, 646 718, 646 719, USAP, 5 août 1899. Signaux de chemin de fer.

Keil (F. et H.-F.). 646 222, USAP, 7 septembre 1899. Cloche électrique.

Searle (B.). 645 573, USAP, 7 août 1899. Cloche électrique pour mines.

Cole (F.-W.). 645 249, USAP, 10 juin 1899. Frappeur Bell pour cloches électriques.

Doddridge (A.-F.), 645 588, USAP, 28 octobre 1899. Appareil d'alarme.

Wescher et Wollenhaupt. 25 464, BP, 1899. Appareil d'alarme.

Law (C.). 645 599, USAP, 29 mai 1899. Appareil automatique d'alarme contre l'incendie.

Mac Lauchlin (W.). 645 736, USAP, 15 décembre 1899. Appareil avertisseur du niveau de l'eau dans les chaudières.

Stowe (B.-L.) et Voorhees (J.-J.). 646 886, 646 887, USAP, 9 et 15 novembre 1899. Indicateur électrique pour tuyaux hydrauliques.

Baker (W.-H.), Kip (R.-I. et F.-E.). 646 721, USAP, 2 février 1899. Indicateur électrique pour ascenseurs.

Mc Cormick (A.-L.). 646 307, USAP, 15 février 1897. Indicateur électrique.

Traction.

Smith. 24 982, BP, 1898. Appareillage pour traction électrique à conducteur aérien.

Bede. 5 398, BP, 1899. Traction électrique à caniveau.

Smith (G.-W.). 645 021, USAP, 23 août 1899. Tramway à conducteurs souterrains.

Lavanchy. 294 495, BF, 20 novembre 1899. Caniveau en matière électro-isolante pour canalisation électrique souterraine.

Courteney (W.). 645 552, USAP, 17 juillet 1899. Conduits pour conducteurs de tramways électriques.

Paul (G.) et Wriggers (H.). 646 626, USAP, 11 août 1899. Système de tramways à contacts superficiels.

Lundell (R.). 646229, USAP, 12 juillet 1899. Tramway à contact superficiel.

Hicks (George C.). 645 259, USAP, 10 juillet 1899. Système à troisième rail.

Morgan (E.-C.). 645 646, 645 647, 645 648, USAP, 2 septembre et 30 novembre 1898. Système à troisième rail pour traction électrique.

Seaton (D.-C.). 645 020, USAP, 18 septembre 1899. Chemin de fer à troisième rail.

Willard (W.-A.-P.). 645654, USAP, 13 juillet 1899. Système à troisième rail pour traction électrique.

Reed (W.-B. et C.-L.). 645 015, USAP, 16 octobre 1899. Chemin de fer électrique.

Sterza (A.). 110 038, DRP. 18 janvier 1899. Rail conducteur à deux parties pour chemin de fer électrique.

Davis (C.-E.). 645 553, USAP, 31 mai 1894. Locomotive de mines.

Dennis (T.). 645351, USAP, 22 juillet 1899. Trôlet.

Potter (W.-B.). 646460, USAP, 14 décembre 1898. Trôlet.

Rauch (E.-J.). 645 186, USAP, 24 mai 1899. Tête de trôlet.

Windsor (R.-S.). 645 990, USAP, 18 juillet 1899. Roue de trôlet.

Petzenbürger et Haisl. 9 938, BP, 1899. Conduit protecteur pour les perches de trôlet.

Le Tall (F.-W.). 110 036, DRP, 5 septembre 1898. Prise de courant pour tramway électrique à conducteur souterrain.

Stoughton (D.-G.). 110 259, DRP, 18 avril 1899. Prise de courant pour tramway électrique avec dispositif

pour ouvrir une bande à frottement recouvrant le conducteur.

Lachenmeyer. 176, B P, 1900. Prise de courant pour tramways électriques.

Meeley (S.-L.). 646 454, U S A P, 10 mai 1899. Contact de prise de courant pour tramways.

Rossel (W.-A.). 109 796, D R P, 22 septembre 1899. Prise de courant pour train actionné électriquement.

Storf. 4 821, B P, 1899. Suspension de moteurs de traction.

Sundh (A.). 645 764 à 645 767, U S A P, 17 et 26 août 1899, 9 et 25 septembre 1899. Appareil et dispositif de régulation pour voitures de tramways.

Sundh (A.). 646 889, U S A P, 23 décembre 1899. Combinateur de tramways.

Lincoln (J.-C.). 646 526, U S A P, 24 juillet 1899. Combinateur.

Perry (P.-E.). 646 155, U S A P, 17 août 1899. Commutateur pour tramway électrique.

Sundh (A.). 646 768, U S A P, 25 septembre 1899. Appareil de contrôle pour voitures de tramways.

Hill. 5 260, B P, 1899. Frein électrique.

Maille (N.-E.). 644 716, U S A P, 7 juillet 1899. Frein électrique de tramways.

Mair (G.-R.). 645 690, U S A P, 11 décembre 1899. Isolateur de sections pour tramways électriques.

Thomas (J et W.-R.). 644 646, U S A P, 12 décembre 1899. Isolateur pour tramways électriques.

Wright (J.-E.). 645 615, U S A P, 25 février 1899. Isolation électrique pour chemins de fer.

Mayer (C.-J.). 11 812 (642 544 renouvelé), U S A P, 12 février 1900. Connecteur de rails.

Mc Tighe. 21 742, B P, 1899. Connecteur de rails.

Johnson (C.-M.). 644 671, U S A P, 8 août 1898. Automobile électrique.

Newman et Ledwinka. 24 184, B P, 1899. Automobile électrique,

Télégraphie et Téléphonie.

Marconi et Wireless Telegraph and Signal C° (Ltd). 5 657, B P, 1899. Appareil pour la télégraphie sans fils.

Guarini. 293 957, B F, 3 novembre 1899. Répétiteur Guarini pour télégraphie sans fils.

Siemens Bros et C° (Ldt) et Perry. 6 349, B P, 1899. Télégraphe.

Lively (S.-F.). 644 714, U S A P. 6 juin 1899. Sounder télégraphique.

The Gray European Telautograph C°. 294 898, B F, 2 décembre 1899. Perfectionnements apportés aux appareils télautographes.

Sinding-Larsen. 2951 127, B F, 11 décembre 1899. Système permettant de télégraphier sur des lignes téléphoniques et appareil à ce destiné.

Clement (Edward.-E). 646 675 à 646 683, U S A P, 16 juin, 20 août, 24 décembre, 21 avril ; 646 694, 646 695, 20 août et 24 décembre 1898. Système téléphonique.

Gharky (William-D.). 646 688, U S A P, 2 juillet 1895 ; 646 689, 1er juillet 1897 ; 646 691, 1er avril 1898 ; 646,692, 16 juin 1890 ; 646 693, 16 juin 1898 ; 649,696, 21 avril 1899 ; 646 697, 17 mai 1899. Système téléphonique.

Gore (J.-W.). 644 594, U S A P, 16 août 1899. Système téléphonique.

Keller (A.-K.). 645 958, U S A P, 6 février 1899. Système téléphonique.

Miller (John-Z.). 645 402, U S A P, 12 décembre 1899. Système téléphonique.

Hughes (F.-C.). 646 121, U S A P, 29 janvier 1898. Système téléphonique Duplex.

Scribner (Charles-E.). 645 570 et 645 571, U S A P, 18 juin et 16 novembre 1896 ; 645 572, 9 mars 1898. Dispositif téléphonique.

Mc. Neil (D.). 644 868, U S A P, 12 juillet 1899. Signal téléphonique.

Thompson (G.-K.). 644 647, U S A P, 18 juillet 1899. Signal sélectionné pour circuits téléphoniques.

Benard. 293 932, B F, 3 novembre 1899. Poste téléphonique central domestique.

Burgunder 294 809, B F, 30 novembre 1899. Perfectionnements aux postes téléphoniques.

Beck et Ferrand. 645 993, U S A P, 18 juillet 1899. Téléphone.

Siemens Bros et C° (Ltd) et Schlœmer. 5 874, B P, 1899. Téléphone.

Keller (A.-K.). 545 960, U S A P, 28 novembre 1899. Téléphone transmetteur.

Wildermann et Nelson. 644 652, U S A P, 24 août 1899. Transmetteur téléphonique.

Germain. 5310, B P, 1899. Microphones.

Cerpaux. 295 077. B F, 9 décembre 1899. Système de microphone.

Keller (A.-K.). 645 959, U S A P, 6 février 1899. Téléphone récepteur.

Ordway (L.-B.). 644 680, U S A P, 12 décembre 1898. Embouchure de téléphone.

Keller (A.-K.). 646 701. U S A P, 17 mai 1899. Support de fiches de tableau téléphonique.

Gierding (C.-E.). 646 643, U S A P, 4 avril 1899. Appareil pour compter le nombre des conversations téléphoniques.

Gray (William) 645 917. U S A P, 29 octobre 1898. Enregistreur d'appel téléphonique.

Cranston et Williams. 3 869, B P, 1899. Enaegistreur téléphonique.

Applications thermiques.

Brown (R.-P.) et Moore (F.-E). 645 066, U S A P, 16 mars 1898. Procédé de soudure électrique.

Lühne. 24 148, B P, 1899. Four électrique pour la fabrication du verre.

Knox (G.-S.) 646 911, USAP, 30 janvier 1899. Appareil de chauffage.

Lawton. 1 086, B P, 1900. Fourneau électrique pour le chauffage de l'eau.

Loubery. 295 076, B F, 8 décembre 1899. Terre réfractaire pour enróler les fils métalliques utilisés dans les appareils de chauffage électrique.

Schiele et Boisselot. 1 475, B P, 1900. Allumeur pour moteurs à gaz.

Fitzlaff. 6 473. B P, 1899. Allumeur de becs de gaz.

Hubert (C.). 644 860, U S A P, 6 mars 1899. Allumeur de becs de gaz.

Abbott (C.-B. et S.). 644 658. U S A P, 27 janvier 1899. Allume-cigares.

Éclairage.

Barnes (E.-M.). 644 962, U S A P, 10 avril 1899. Lampe à arc.

Bennett. 5 356, B P, 1899. Lampes à arc.

Bowen (E.-L.), 645 784, U S A P, 8 décembre 1899. Lampe à arc.

British Thomson-Houston C° (Ltd), 21 665, B P, 1899. Lampes à arc.

Day. 7 041, B P, 1899. Lampes à arc.

Lyon et Talbot-Crosbie. 27, B P, 1900. Lampes à arc.

Spies (P.-H.-F.). 646883, 1er novembre 1899. Lampe à arc.

Vogel (W.). 645 499. U S A P, 5 août 1899. Lampe à arc.

Bardon. 294 411, B F, 17 novembre 1899. Lampe à arc différentielle.

Henrielle. 294 706, B F, 27 novembre 1899. Lampe à arc à faible intensité.

Adams (T.-E.). 644 562, U S A P, 16 août 1899. Lampe à arc enfermé.

Adams (T.-E.). 644 563, USAP, 20 septembre 1899. Détail de construction d'une lampe à arc enfermé.

Belfield (R.). 109 905, D R P, 1er mars 1898. Lampe à arc alternatif avec disposition pour éviter le bruit.

Opitz (R.). 109 842, D R P, 12 avril 1899. Dispositif d'arrêt pour lampes à arc,

Belden. 294 951, B F, 5 décembre 1899. Perfectionnements aux lampes électriques à arc.

Combier et Duflos. 294 233, B F, 11 novembre 1899. Amortisseur à courants de Foucault pour lampes à arc.

Robinson et Ferguson. 1 694. B P. 1900. Traitement des électrodes de charbon pour arcs électriques.

KREMENESKY (J.). 645 266, USAP, 10 mars 1898. Dispositif de fixation des globes électriques.

OPITZ (R.). 109 191, DRP, 26 mars 1899. Disposition de globe pour lampe à arc de longue durée.

Mc F. MOORE. 644 995, USAP, 9 novembre 1899 : 645 041, 27 juillet 1899 et 646 858, 21 avril 1899. Tube à vide pour l'éclairage.

ALLGEMEINE ELEKTRICITÆTS GESELLSCHAFT. 45, BP, 100. Lampes à incandescence.

SIEMENS ET HALSKE AKTIEN GESELLSCHAFT. 6 220, BP, 1899. Lampes à incandescence.

ATHERTON. 13 849, BP, 1899. Lampes à incandescence.

WALFFHARDT. 21 429, BP, 1899. Lampe à incandescence.

VAN DEVENTER. 24 387, BP, 1899. Lampe à incandescence.

BOEHM (W.). 644 160, USAP, 2 février 1899. Lampe à incandescence.

ALLINGHAM et FENNELL. 5 486, BP, 1899. Lampes à incandescence.

GALE (W.-C.). 5 137, BP, 1899. Lampes à incandescence.

HOWARD, 24 824, BP, 1899, Lampes à incandescence.

LORRAIN (Macdonald). 3786. BP, 1899. Lampes à incandescence.

MENGARINI. 10 416, BP, 1899. Lampes à incandescence.

MILLER. 5211. BP, 1899. Lampes à incandescence.

VAN VLECK. 644 783 à 644 785, USAP, 9 mai et 8 juin 1899. Lampe à incandescence.

DE SOMSÉE. 294 701, BF, 27 novembre 1899. Nouvelle lampe électrique à incandescence.

VÖLKER (W.-L.). 109 864, DRP, 18 mars 1898. Procédé de fabrication de filaments incandescents.

NERNST (W). 109 907, DRP, 19 juin 1898. Procédé de production de lumière électrique d'après le brevet 104 872.

ALEFELD (G.). 645 198, USAP, 21 février 1899. Procédé de matières incandescentes convenables pour l'éclairage électrique.

GANS (L.-W.). PHARMAZEUTISCHES INSTITUT. 108 972, DRP, 18 novembre 1898. Procédé de fabrication de corps électriques incandescents de magnésie ou de terres alcalines avec une âme conductrice de métal.

ALLGEMEINE E.-G. 109 069, DRP, 5 avril 1899. Procédé de fabrication de résistances ou de corps de chauffage électriques pour l'excitation des corps lumineux formés de conducteurs de seconde classe.

VOELKER. 6 149, BP, 1899. Fabrication de filaments pour lampes à incandescence.

HOWARD. 4 725, BP, 1899. Lampe à incandescence à substances réfractaires.

COMPAGNIE FRANÇAISE pour l'exploitation des procédés Thomson-Houston. 293 970, BF, 4 nov. 1899. Perfectionnements aux lampes électriques à incandescence.

VOELKER. 294 152, BF, 9 novembre 1899. Perfectionnements apportés à la fabrication des lampes électriques à incandescence.

BARTENSTEIN. 8 497, BP, 1899. Ampoule de lampes à incandescence.

MOUL et LIND. 8 168, BP, 1899. Montage de lampes à incandescence.

FESCH. 294363, BF, 15 novembre 1899. Double contrôleur pour armatures baïonnette dn système Swan de lampes à incandescence.

LACHMANN. 8 775, BP, 1899. Supports de lampes à incandescence.

LONG (H.). 642 911, USAP, 5 octobre 1899. Support de lampes électriques.

LONG. 23 100, BP, 1899. Supports de lampes électriques.

LYNES. 4 088, BP, 1899. Support de lampes à incandescence.

HARTER. 294 088, BF, 8 novembre 1899. Perfectionnements aux supports de lampes à incandescence.

SOCIÉTÉ AKTIENGESELLSCHAFT BERLINER LUXUSPAPERFABRIK VORM HOHENSTEIN ET LANGE. 294 158, BF, 9 novembre 1899. Support d'abat-jour pour lampes à incandescence.

MENGES (E.). 642 995, USAP, 14 mars 1898. Dispositif de connexion pour supports de lampes.

OETTING (W.). 642 825, USAP, 16 septembre 1899. Monture pour lampes à incandescence.

SIMMS. 22 525, BP, 1899. 294, 420 BF, 17 nov. 1899. Dis-

Nous fûmes très surpris de cette verrue poussée subitement à l'extrémité de la ligne à trôlet de l'avenue Daumesnil, dont les doubles potences, exécutées avec goût, ne nous avaient point choqués. L'administration nous avait pourtant bien juré de n'admettre nulle part dans Paris les fils transversaux et les fils tendeurs de courbes, et de ne pas laisser pénétrer le trôlet dans les grandes places à traversées multiples : conformément à ce programme le fil aérien n'avait été autorisé que sur l'avenue Daumesnil et la Compagnie Thomson-Houston avait installé le trôlet souterrain à caniveau dans la rue de Lyon et dans l'arc de la place de la Bastille qui terminait la ligne.

La rumeur publique nous a appris que la Compagnie Thomson-Houston, ayant argué des détériorations causées à son caniveau par les travaux du Métropolitain exécutés en hâte sous la rue de Lyon en vue de l'Exposition, avait obtenu l'autorisation d'établir *provisoirement* une installation quelconque à trôlet sur le trajet en caniveau. A ces grands mots de Métropolitain et d'Exposition, nous nous résignâmes à supporter, pendant la durée des travaux souterrains, la vue de cette désagréable installation.

Mais voici arrivé le joli mois de mai ; le chantier de la rue de Lyon est délaissé depuis déjà quelque temps, l'Exposition est inaugurée depuis un mois, et nous commençons à être irrités de voir les poteaux toujours aussi nus et les fils toujours tendus aussi solidement au-dessus des trottoirs et de la place. Il serait grand temps d'enlever aux yeux des méridionaux de France et d'étranger frais débarqués de la gare de Lyon, le spectacle de cette vilaine ferraille qui fait perdre à notre bonne ville le renom d'esthétique qu'elle s'était acquis en proscrivant, malgré toutes les raisons utilitaires, l'emploi de fils tendeurs sur son territoire, même dans les parties sans grand cachet artistique, comme les artères de la place de la Bastille.

Nous savons que la Compagnie Thomson-Houston ne voudrait pas profiter d'une autorisation temporaire accordée par suite de raisons majeures, pour se soustraire subrepticement aux sujétions de la conduite souterraine ; elle tient trop à sa réputation pour laisser subsister une installation aussi rudimentaire. Tout de même nous serions contents de connaître l'époque précise à laquelle elle va enlever son équipement *provisoire* et le système non aérien par lequel elle va le remplacer. Et puis cela calmerait les oiseaux de mauvais augure, qui craignent que la transformation se borne à la peinture des poteaux et à la pose d'une pointe à leur extrémité, en vertu du proverbe qu' « en France il n'y a que le provisoire qui dure ».

Recevez etc...

CH. JACQUIN.

TÉLÉGRAPHIE

Projet de loi fédérale sur l'organisation des télégraphes en Suisse. — Le Conseil fédéral suisse a adressé le 20 juin dernier à l'assemblée fédérale un message concernant la réorganisation de l'administration des télégraphes. Nous empruntons à ce document les renseignements suivants :

L'organisation actuelle de l'administration des télégraphes repose sur la loi fédérale du 20 décembre 1854 qui n'a subi que quelques changements de peu d'importance. Cette loi aurait, selon toute probabilité, suffi encore pendant nombre d'années, et sans changements essentiels, si en 1881, l'introduction de la téléphonie n'avait apporté à l'administration une nouvelle tâche et une extension imprévue. Après que les autorités fédérales eurent décidé que l'établissement et l'exploitation des installations téléphoniques seraient du domaine de la Confédération, il était hors de doute que le nouveau moyen de communication rentrait, par sa nature même, dans la sphère d'activité de l'administration des télégraphes, vu que le télégraphe et le téléphone poursuivent le même but, par des moyens semblables ou tout au moins analogues, et qu'ils sont si étroitement liés, sous le rapport de la construction et de l'exploitation, qu'il n'y aurait pas avantage à créer une administration distincte.

Il fallut dès lors, pour assurer ce nouveau service, un personnel spécial qui fut accordé par voie budgétaire et ne repose pas sur une loi organique. Mais la téléphonie était encore dans son premier développement et il aurait été prématuré de songer déjà à une organisation définitive.

Galvanomètre de marine universel Sullivan (E T Z, p. 255 29 mars).
Emploi des instruments à fil chaud comme ampèremètres pour courants alternatifs ; E.-A. WAGNER (A E, p. 162, avril).
Voltmètre à miroir à grande déviation ; W. THIERMANN (E T Z, p. 211, 15 mars).
Volt-Ampèremètre (D E L, p. 129, 17 mars).
Caisse portative universelle pour mesures électriques de MM. Chauvin et Arnoux (A T, p. 481, nov.-déc. 99).
Nouvelle forme du pont de Wheatstone de la Telegraph Manufacturing C° (El, p. 823, 30 mars).
Potentiomètre à lecture directe (E R, p. 761, 4 mai).
Sur la compensation de deux défauts du Watmètre ; L. KALLIR (Z E T, p. 243, 6 mai).
Compteur d'électricité à tarifs multiples (E T R, p. 159, 15 mai).
Compteur Evershed (E R, p, 864, 25 mai).
Indicateur de demande maximum Remington (El, p. 921, 20 avril).
Appareil d'essais de la résistance des joints de rails de lord Kelvin (El, p. 816, 30 mars).
Quelques remarques sur l'emploi du fil de garde de Price dans les essais d'isolement ; W.-E. AYRTON et T. MATHER (P M, p. 343, avril).
Apppareil d'essai des condensateurs (A E, p. 162, avril).
Appareil pour l'essai rapide et précis des câbles ; Henry W. FISHER (E W, p. 701, 12 mai).
Montage pour mesures sur les courants à champ tournant (E T R, p. 131, avril).
Sur la manière de relever les courbes de courants alternatifs ; Dr F. Niethammer (E T Z, p. 309, 19 avril).
Sur une nouvelle méthode de détermination de la forme des courants alternatifs (I E, p. 133, 10 avril).
L'oscillographe Duddell (E, p. 582, 4 mai).
Détermination de la fréquence des convertisseurs rotatifs E W, p. 507, 7 avril).
L'épreuve magnétique de la tôle ; I. EPSTEIN (E T Z, p. 303, 19 avril).
Recherches expérimentales sur quelques étalons de lumière ; J.-E. PETAVEL (El, p. 747, 827, 863, 16 et 30 mars, 6 avril).
Le laboratoire d'essais de lampes de la Compagnie Edison de New-Orléans ; Lyman C. REED (A E, p. 118, mars).
Photomètre Lummer et Brodhun (R I, p. 1881, 7 mars).
Photomètre pour stations centrales ; Lyman C. REED (A E, p. 231, mai).
Instruments de mesure électriques de la température (D E L, p. 149 et 228, 31 mars et 12 mai).
Frein-dynamomètre électrique ; A. GRAU (E T Z, p. 266, 5 avril).

Divers.

La résiliation des traités de gaz (U E, p. 17, février).
La substitution de l'électricité au gaz (U E, p. 17, février).
Comparaison entre le gaz et l'électricité pour le chauffage, l'éclairage et la force motrice (E R, p. 701, 27 avril).
Les propriétés du carbone au point de vue des applications électriques ; Elihu THOMSON (E W, p. 703, 12 mai).
Relations entre l'électricité et l'art de l'ingénieur, WILLIAM HENRI PREECE (E, p. 562, 27 avril ; E R, p. 692, 27 avril ; El, p. 18, 27 avril).
L'application de l'électricité à la médecine et à la chirurgie ; H. Lewis JONES (ER, p. 459, 16 mars ; El, p. 503 et 746, 23 et 16 mars ; J E E, p. 346, avril).
Applications de l'électricité dans les opérations militaires ; John P. WISSER (E M, p. 232, mai).
La situation et le développement de l'industrie électrotechnique à Berlin en 1899 (D E L, p. 155, 31 mars).
Le développement et l'importance de l'électrotechnique (D E L, p. 177, 14 avril).

L'état de l'industrie électrique dans l'Amérique du Sud ; Charles P. King (ERNY, p. 237 et 274, 7 et 14 mars).
Progrès de l'électricité en Italie en 1899 ; Enrico Bignami (ERNY, p. 235, 7 mars).
Les installations électriques et mécaniques de l'université d'Illinois (ER, p. 418, 25 avril).
Les collections d'appareils électriques de la Smithsonian Institution ; George G. Maynard (ERNY, p. 276, 14 mars).
Le service électrique à l'Université de Purdue (ERNY, p. 469, 9 mai).
Quelques considérations concernant l'enseignement des jeunes ingénieurs (ER, p. 591, 6 avril).
La loi sur les dérivations des eaux publiques (Els, p. 105, 18 mai).
L'électricité dans le projet de loi contre la concurrence déloyale, par Emil Honigmann (ZET, p. 228 et 241, 6 et 13 mai).
L'électricité à l'Exposition de Paris (ERNY, p. 437, 2 mai ; EW, p. 649, 5 mai).
Rapport du Comité sur la visite des installations suisses en 1897 (JEE, p. 195, mars).
L'équipement électrique du corps de volontaires des ingénieurs-électriciens (ER, p. 699 ; El, p. 6, 27 avril).
Le château-d'Eau de l'Exposition universelle (E, p. 451, 6 avril).

BIBLIOGRAPHIE

Il est donné une analyse bibliographique des ouvrages dont **deux** *exemplaires sont envoyés à la Rédaction.*

Elektrometallurgie und Galvanotechnik, par **Dr Franz Peters**. 4 volumes avec 283 figures, *A. Hartleben*, éditeur; Vienne, Pest et Leipzig. Prix : 4 fr. chaque volume.

Cet ouvrage traite, ainsi que l'indique son titre, de la production électrique des métaux ainsi que des dépôts galvaniques de ceux-ci. Dans son travail, l'auteur examine successivement à ce point de vue les différents métaux. Le premier volume se rapporte aux métalloïdes et aux métaux légers : antimoine, étain, bismuth, bore, magnésium et aluminium. Ce dernier chapitre est de beaucoup le plus important et on y trouve, après une historique et la description des minerais et matières premières, un très grand nombre de procédés, soit employés soit brevetés, d'extraction de l'aluminium par fusion ignée et quelques uns par électrolyse des solutions hydratées. Les principaux procédés de dépôts galvaniques sur aluminium sont également décrits avec quelque détail.

Le deuxième volume est entièrement réservé au cuivre. Une première partie traite de l'extraction du cuivre, de ses minerais par électrolyse, des solutions hydratées en employant des anodes solubles ou insolubles ; puis du raffinage. La galvanotechnique du cuivre forme la deuxième partie; on y trouve la préparation du cuivre en lames, en poudre, et principalement la fabrication des tubes de cuivre et autres corps de révolution ainsi que celle des conducteurs métalliques et des alliages du cuivre par voie électrolytique.

Dans le troisième volume, nous trouvons l'argent et l'or, avec les différents procédés d'extraction dans la partie électrométallurgique : extraction de l'argent de ses différents minerais, désargentation du plomb ; procédés au cyanure (Siemens et autres) pour l'obtention de l'or, etc. Dans la partie galvanoplastie sont décrits tous les procédés de dorure et d'argenture (miroirs, corps creux,etc.).

Le zinc, le plomb, le nickel et le cobalt sont réunis dans le dernier volume. L'auteur s'étend principalement sur l'électrolyse des solutions hydratées de zinc (emploi d'anodes solubles et insolubles, circulation des solutions, procédés pour rendre compact le dépôt de zinc et pour empêcher la formation d'éponge, etc.) et sur les différents procédés de nickelage.

L'ouvrage, qui est terminé par une longue liste des brevets pris sur la question dans les principaux pays, constituera un auxiliaire précieux de l'électrochimiste, du métallurgiste et du galvanoplaste ainsi que de tous ceux qu'intéressent les questions de brevets.

Il convient cependant de déplorer quelques omissions telles que l'électrométallurgie du chrome et du manganèse ainsi que le platinage, sans parler de l'électrométallurgie des métaux alcalins et alcalino-terreux que l'auteur a traités séparément dans son précédent ouvrage « Augewadten Elektrochimie ». L. J.

Electric Power Tramsmission (Transmission électrique de l'énergie), par **M. Louis Bell.** 2e édition, revue et augmentée.

La première édition de ce livre parue en 1897 a eu beaucoup de succès en Amérique, grâce à la compétence de l'auteur et l'intérêt du sujet.

Dans cette seconde édition considérablement revue et augmentée, l'auteur a tenu à mettre ses lecteurs au courant des progrès considérables réalisés dans la transmission électrique de l'énergie pendant ces trois dernières années. D'un autre côté, l'ouvrage de M. Louis Bell est rédigé dans un ordre d'idées purement pratique et s'adresse spécialement aux praticiens.

Après l'exposé de quelques principes indispensables sur l'induction électromagnétique, l'auteur étudie les conditions générales du transport de l'énergie puis les divers modes de transmissions électriques par courant continu et par courants alternatifs.

Un chapitre spécial est consacré au redressement des courants alternatifs simples ou polyphasés à l'aide de commutateurs tournants, redresseurs, moteurs-générateurs, commutatrices, etc. que l'auteur désigne sous le nom générique de *réorganiseurs* de courant.

M. Louis Bell fait ensuite une courte étude des moteurs primaires, machines à vapeur, turbines, etc.

Une seconde partie du livre est consacrée à l'organisation de stations génératrices, à la construction des lignes, aux centres de distribution et finalement à la question commerciale. L'auteur termine par une étude très intéressante sur les tensions les plus élevées qu'on peut employer pour la transmission de l'énergie électrique.

En somme, le traité de M. Bell est un des ouvrages le plus complet sur les questions si importantes à l'heure actuelle du transport de l'énergie et l'on peut assurer que le succès de cette seconde édition sera très considérable.

J. Reyval.

Les machines dynamo-électriques à courant continu et à courant alternatif, par **M. Gisbert Kapp**, traduit de l'allemand sur la troisième édition par M. P. Lecler, Béranger et Cie, éditeurs, Paris. Prix : 16 fr.

Logiquement, et c'est ainsi qu'avait opéré l'auteur en Allemagne, ce traité doit venir avant celui des constructions électro-mécaniques qui n'est en quelque sorte que le complément du premier.

Les ouvrages de M. Kapp, grâce à la bienveillance qu'ils ont rencontrée auprès des éditeurs français sont devenus tout à fait classiques chez nous. La réputation du reste universelle de l'auteur était pour eux un sûr garant du succès

Au point de vue pratique, le traité de M. Kapp dépasse de beaucoup, en effet, les ouvrages français sur la question si complexe du calcul des dynamos, tout en restant d'une simplicité d'exposition extrême qui fait que ce livre est abordable à tous. Aussi en France jouira-t-il d'une grande faveur auprès des élèves des écoles d'électricité.

Pour donner une courte analyse de ce traité, il nous suffira de dire qu'après quelques chapitres consacrés aux notions préliminaires indispensables, l'auteur étudie successivement les enroulements induits, les systèmes différents d'inducteurs, les pertes d'énergie dans les dynamos à courant continu et enfin donne une description de quelques types de dynamos.

En ce qui concerne les alternateurs et les alternomoteurs, l'auteur suit une voie analogue à celle employée pour le courant continu et insiste tout particulièrement sur la question de la réaction d'induit des dynamos à courants alternatifs.

Un chapitre spécial est consacré aux commutatrices et n'est en somme que la reproduction avec corrections de l'intéressante étude publiée l'an dernier par M. Kapp. M. Leclerc nous a donné du livre de M. Kapp une excellente traduction qui, tout en serrant toujours de très près le texte, est débarrassée des longueurs qui sont l'apanage de la langue allemande.

En résumé, le livre de M. Kapp constitue un des meilleurs livres d'étude de dynamos que nous connaissons et nous ne saurions trop le recommander aux jeunes et vieux électriciens qui s'intéressent à la construction des machines dynamo-électriques.

C.-F. Guilbert.

La Théorie de Maxwell et les oscillations hertziennes, par **H. Poincaré,** membre de l'Institut (collection *Scientia*). 1 vol. in-8° écu de 400 pages, avec figures, cartonné. *Georges Carré* et *C. Naud*, éditeurs. Prix : 2 fr.

Le Phénomène de Zeeman, par **A. Cotton**, maître de conférences à l'Université de Toulouse (collection *Scientia*). 1 vol. in-8° écu de 100 pages avec 12 figures, cartonné. *Georges Carré* et *C. Naud*, éditeurs. Prix : 2 fr.

Théorie du potentiel Newtonien, par **H. Poincaré**, membre de l'Institut. Leçons professées à la Sorbonne, rédigées par Ed. Leroy, docteur ès sciences, et G. Vincent, agrégé préparateur à l'École normale supérieure, et revues par le professeur. 1 vol. in-8° raisin de 366 pages, avec 88 figures, broché. *Georges Carré* et *C. Naud*, éditeurs. Prix : 14 fr.

Recherches sur l'électricité, par **Gaston Planté**. 1 vol. in-8° raisin de 322 pages, avec 89 figures, broché. *Georges Carré* et *C. Naud*, éditeurs. Prix : 8 fr.

L'Électricité, notions et applications usuelles, par **Aug. Michaut**. 1 vol. in-8° écu de VIII-412 pages, orné de 300 figures. *Georges Carré* et *C. Naud*, éditeurs. Prix : broché, 6 fr. cartonné à l'anglaise, 7 fr.

La **Grande Encyclopédie**, désireuse de donner satisfaction à ses souscripteurs et de terminer dans le plus bref délai cette grande œuvre, met en vente cette semaine, presque aussitôt après la publication du tome XXVIII, les 679e et 680e livraisons.

Prix : de la livraison 1 fr., du volume broché 25 fr., du volume relié 30 fr.

Envoi franco d'un fascicule spécimen de 16 pages contre toute demande affranchie adressée à la Société de la *Grande Encyclopédie*, 61, rue de Rennes, Paris.

Tome XXIII **Samedi 9 Juin 1900.** **7e Année. — N° 23.**

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

SOMMAIRE

Adresser tout ce qui concerne la Rédaction à M. J. BLONDIN, 171, Faubourg-Poissonnière (9e arrondissement).

NOUVELLES ET ÉCHOS

Association française pour l'avancement des sciences. (*Congrès de Paris*, 2-9 avril 1900). — Nous recevons de M. Pellat, professeur à la Faculté des sciences de l'Université de Paris, qui présidera la 5e section du Congrès, la lettre suivante :

Le prochain Congrès de l'Association française pour l'Avancement des Sciences se réunira à Paris du 2 au 9 août 1900.

Cette session coïncide à peu près avec la réunion du Congrès international de Physique, qui aura lieu du 6 au 12 août. La présence à Paris de nombreux physiciens français et étrangers donnera, nous l'espérons, un éclat tout particulier aux séances de la 5e section (*Physique*).

Ayant été désigné pour les présider, j'ai l'honneur de vous prier de vouloir bien prendre part aux travaux de cette section.

Je vous serais fort obligé de me faire connaître, le plus tôt qu'il vous sera possible, les titres des mémoires ou communications que vous auriez l'intention d'y présenter, afin que le programme de la session qui paraîtra prochainement puisse en contenir l'indication.

J'espère que vous voudrez bien concourir au succès de notre réunion et contribuer à assurer la bonne réputation de la Physique française devant nos hôtes étrangers.

Je vous prie, Monsieur, etc.

Prière d'adresser les réponses à M. Pellat, 3, avenue de l'Observatoire à Paris, ou au Secrétariat de l'Association, 28, rue Serpente.

EXPOSITION UNIVERSELLE

Jury des récompenses. — Les jury des récompenses des cinq classes du groupe V (Electricité), sont ainsi constitués :

Classe 23. — *Production et utilisation mécaniques de l'électricité.*

Président : M. le colonel Turettini (*Suisse*).
Vice-Président : M. Monnier (Démétrius).
Rapporteur : M. Hospitalier (Edouard).
Secrétaire : M. Hillairet (André).
Jurés titulaires : *France.* — MM. Auvert, Berdin (Achille), Javaux (Emile), Mascart (Eleuthère), Postel-Vinay (André), Raclet (Joannis), Sciama (Gaston).
Autriche. — M. le professeur Sahulka.
États-Unis. — M. D. Ball, expert.
Grande-Bretagne. — M. le professeur W. E. Ayrton.
Hongrie. — M. Banovits (Cajetan de).
Russie. — M. Dolivo-Dobrovolsky, ingénieur.
Suède. — Hamman (John).
Jurés suppléants : *France.* — M. Maiche (Louis).
Belgique. — M. Pieper, directeur de la Compagnie d'électricité, à Liège.
États-Unis. — M. C. T. Malconsom, expert.
Pays-Bas. — M. Lels, constructeur.
Suisse. — M. le professeur Wyssling.

Classe 24. — *Électrochimie.*

Président : M. Moissan.
Vice-Président : M. Eric Gerard (*Belgique*).
Rapporteur : M. Becquerel.
Secrétaire : M. Etard.
Jurés titulaires : *France.* — MM. Bancelin (Edme), Becquerel (Henri), Bouty (Edmond).
États-Unis. — M. Ostheimer (George R.).
Jurés suppléants : MM. Street (Charles), M. le professeur Borchers (*Allemagne*).

Classe 25. — *Éclairage électrique.*

Président : M. Hippolyte Fontaine.
Vice-Président : M. Hering (Carl) (*États-Unis*).
Rapporteur : M. Janet (Paul).
Secrétaire : M. Josse (Hippolyte).
Jurés titulaires : *France.* — MM. Cance (Alexis), Ebel (Georges), Martine (Gaston), Meyer (Ferdinand), Violle (Jules).
Allemagne. — M. Oscar Von Miller.
Autriche. — M. le professeur Juellig.
Belgique. — M. J. Dulait.
Grande-Bretagne. — M. Jas. Swinburne.
Suisse. — M. le professeur Palaz.
Russie. — M. Smirnoff.
Jurés suppléants : MM. Miet (Maurice), Roux (Gaston), Soubeyran.

Il est à remarquer que le tarif de 0,50 fr le kilowatt-heure est beaucoup plus élevé que celui que font les secteurs parisiens pour certaines applications et en particulier pour le chauffage électrique. Ce dernier tarif est en effet de 0,30 fr seulement le kilowatt-heure et à ce taux le prix du repas ne reviendrait par conséquent qu'à 0,14 fr environ. On voit donc que le prix de revient de la cuisine électrique n'a absolument rien d'exagéré, surtout si l'on tient compte que chez un particulier on pourrait réaliser en réglant convenablement le courant, une économie notable dont s'inquiètent peu en général tous les chefs cuisiniers.

Les instruments de mesure de lord Kelvin. — Fabriqués par la maison James White de Glascow, dont MM. Cadiot et C[ie] sont les représentants en France, les nombreux instruments de mesure imaginés par lord Kelvin occupent un important emplacement dans la section anglaise.

La balance de lord Kelvin y est représentée par deux ou trois types d'instruments. On y rencontre également plusieurs types de voltmètres électrostatiques permettant d'évaluer de vingt à plusieurs milliers de volts, ainsi que plusieurs voltmètres à siphon recorder fort appréciés en Angleterre, car convenablement éclairés ils permettent la lecture facile de leurs indications à une assez grande distance. Des ampèremètres de ce genre sont également exposés. Ces voltmètres et ampèremètres conviennent particulièrement pour les tableaux de distribution ; par suite de leur construction ils ne sont pas influencés par les courants intenses qui traversent les circuits situés dans le voisinage et ne sont pas affectés non plus par les variations de température.

Les instruments enregistreurs sont représentés par des voltmètres, des ampèremètres et des wattmètres pour courants continus et alternatifs. Parmi les wattmètres on remarque un type nouveau destiné à la mesure de la puissance des courants triphasés; un modèle est muni d'une échelle horizontale, l'autre d'une échelle verticale; l'appareil à échelle verticale est destiné aux tableaux de distribution; l'appareil à échelle horizontale est un instrument portatif; l'un et l'autre instrument donnent des indications correctes, que les phases soient ou non également chargées.

Une autre nouveauté est un appareil servant à mesurer les résistances des connecteurs de rails de tramways ; il consiste en un voltmètre relié à deux pointes de contact en acier que l'on place sur les rails de chaque côté du connecteur ; ses indications donnent directement la résistance de celui-ci.

Parmi les objets exposés par M. White signalons encore des ponts de Wheatstone à bobine ou à fil, des bobines étalons de résistance, une série d'électromètres, d'ampèremètres étalons, etc.

On y rencontre aussi un coupe-circuit automatique fonctionnant soit comme appareil à maximum, soit comme appareil à minimum, le déplacement d'une manette permettant de l'employer dans l'un ou l'autre cas.

GÉNÉRATION ET DISTRIBUTION

Sur les foyers fumivores. — Bien que la question de la fumivorité soit à l'ordre du jour depuis quelque quarante ans, et que des règlements de police et même des lois aient été promulgués en divers pays pour la suppression des fumées industrielles, il ne semble pas qu'elle ait fait de grands progrès si l'on en juge par les torrents de fumée noire et épaisse que déversent chaque jour les cheminées des usines établies dans les villes ou dans leurs faubourgs immédiats. A Paris, en particulier, personne ne s'est aperçu des bienfaits que devait valoir aux contribuables l'arrêté de police pris l'an dernier : toutes les usines, sans excepter les usines de distribution d'énergie électrique, fument avec autant de désinvolture qu'auparavant, les usines et établissements municipaux donnant les premiers l'exemple. En Angleterre cependant, où le mal est plus grand que chez nous, il semble que l'on tienne à faire respecter les lois et arrêtés et depuis deux ans bien des industriels et non des moindres ont appris à leurs dépens qu'on ne saurait toujours se moquer du législateur quand celui-ci a pour lui les hygiénistes et par cela même la majorité des habitants des grandes villes. Aussi, et bien que les progrès ne soient guère sensibles, les recherches et études faites en vue de supprimer les fumées industrielles sont-elles plus nombreuses en Angleterre qu'en France, et est-ce surtout dans les périodiques de l'autre côté du détroit que nous devons fouiller pour trouver quelques renseignements nouveaux sur la question.

Dans un article publié dans *The Sanitary Record*, de Londres, du 29 décembre dernier, M. W. Nicholson, comparant les avantages et inconvénients des divers dispositifs préconisés en vue de la suppression des fumées se prononce contre les systèmes

Emballage, transport et emmagasinage du carbure. — Différents modes d'emballage. — Formalités à remplir pour la douane. — Précautions à prendre dans le transport et l'emmagasinage. — Tarifs de transports.

Acétylène. — *Production de l'acétylène.* — *Appareils générateurs.* — Différents genres d'appareils producteurs d'acétylène.

Modes de fonctionnement et de réglage.

Avantages et inconvénients des différentes catégories d'appareils.

Epuration de l'acétylène. — Impuretés de l'acétylène.

Appareils destinés à l'épuration.

Matières et produits chimiques ou procédés mécaniques employés.

Mesures de sécurité concernant l'acétylène. — Précautions contre les accidents.

De la surproduction ; moyens de l'éviter ou de la réduire.

Précautions à prendre contre la gelée.

Règlements administratifs.

Applications de l'acétylène à l'éclairage. — Appareils servant à l'éclairage. — Acétylène dissous.

Mélanges d'acétylène et de gaz divers. — Eclairage par l'incandescence.

Pouvoir éclairant. — Brûleurs. — Canalisation. — Appareillage.

Lampes portatives.

Eclairage public. — Eclairage de voitures et wagons.

Applications diverses de l'acétylène. Emploi de l'acétylène au chauffage. — Fourneaux. — Réchauds. — Fers à souder. — Chalumeaux, etc.

Applications de l'acétylène aux moteurs. — Consommation. — Comparaison des prix de revient avec les autres moteurs.

Applications chimiques de l'acétylène. — Noir d'acétylène. — Cémentation. — Benzine. — Alcool. — Fabrication des cyanures, etc.

Applications du carbure et de l'acétylène à la métallurgie.

TRACTION ÉLECTRIQUE

Informations. — *Douai.* — M. Mougy, ingénieur à Lille, a adressé à M. Seulfort, président du Conseil général, copie d'une demande soumise aux préfets du Nord et du Pas-de-Calais. Cette demande tend à obtenir la concession de 328 km de tramways électriques à construire dans ces deux départements.

Chemin de fer électrique Varese-Luino. — La Société anonyme Brioschi Finzi et Cᵒ, de Milan, vient de recevoir de la Societa Ferrovie e Tramwie Elettriche Varesine la commande de trois alternateurs triphasés chacun d'une puissance de 500 chevaux sous 6000 volts. Ces alternateurs sont destinés à l'usine génératrice de Maccagno et devront travailler en parallèle avec les alternateurs installés par la Société Thomson-Houston à l'usine de Cunardo ; les uns et les autres alimenteront le chemin de fer Varese-Luino, actuellement en construction.

ÉCLAIRAGE

Informations. — *Bucarest* (Roumanie). — La Compagnie du gaz de Bucarest a présenté à la mairie le projet de concession pour l'éclairage de la ville à l'électricité.

La Rochelle. — M. Modelski au nom des Commissions de l'éclairage et des finances, donne lecture d'un rapport sur le projet de substitution partielle de l'éclairage électrique à l'éclairage au gaz.

La substitution partielle de l'éclairage électrique à l'éclairage au gaz, qui est proposée, serait obtenue grâce à une prorogation de vingt années du traité de la Compagnie du gaz. Cette Compagnie s'engagerait, de son côté, à réduire le prix du gaz dans des proportions notables (environ 25 p. 100).

Montebourg (Manche). — M. Leconte, concessionnaire de l'éclairage électrique, n'ayant pas rempli les conditions du traité passé entre lui et la commune de Montebourg, il en a été référé au Conseil de préfecture lequel dans sa séance du 11 avril dernier, a prononcé la résiliation dudit traité.

ÉLECTROCHIMIE

Le traitement électrolytique des minerais de zinc. — Quelques-uns des procédés employés ou préconisés pour le traitement des minerais de zinc ont été antérieurement décrits dans ce journal ; une chronique du *Bulletin des ingénieurs civils* nous donne quelques renseignements sur ce sujet :

L'usine comprend également une commutatrice de 80 kilowatts qui fournit du courant continu pour la charge de plusieurs bateaux électriques à accumulateurs. Quelques-uns de ces bateaux doivent faire un service régulier entre Saint-Denis et l'Exposition. Leurs accumulateurs sont du système Pisca. Ces bateaux forment déjà une flotille sur laquelle les invités à l'inauguration ont, après le déjeuner, fait une longue promenade en Seine. Nous reviendrons bientôt sur la description de ces bateaux.

Usine hydro-électrique de Saint-Maurice-River (Canada). — Une usine, dont la puissance totale atteindra 90 000 chevaux est actuellement en construction à Saint-Maurice. Au début, la puissance des groupes électrogènes installés sera de 30 000 chevaux. L'*Engineering Record* du 28 avril donne une description détaillée de la partie hydraulique de l'usine. Voici, d'après le *Génie Civil* du 16 juin quelques renseignements sur les conditions générales de l'installation.

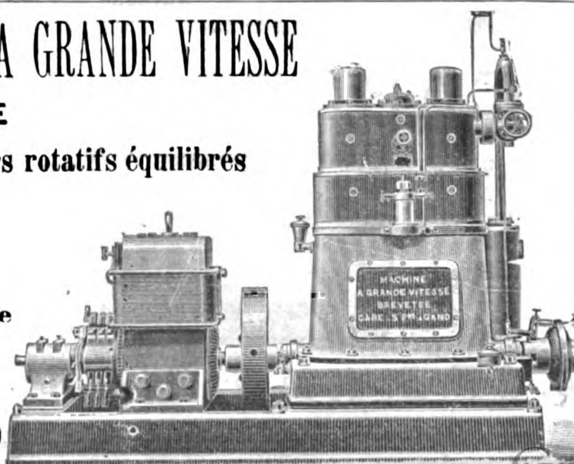
Le Saint-Maurice River est alimenté par un bassin de 47 000 km², fortement boisé, situé au nord du Saint-Laurent dans lequel il se jette à Three Rivers, ville placée à mi-chemin entre Québec et Montréal, et distante de chacune d'elles de 144 km. A environ 25 km de son confluent avec le Saint-Laurent, le Saint-Maurice River forme, sur une longueur de 24 km, une série de chutes et de rapides qui, étant donnée l'importance du débit, représentent de l'énergie utilisable à très bon compte. On peut estimer à 200 000 chevaux la puissance minimum disponible, en hiver, au moment des plus basses eaux, même en laissant écouler librement une quantité d'eau suffisante pour emporter les glaces de fond et le frazil.

Par suite du manque de communications par chemins de fer, ces conditions favorables étaient restées jusqu'à présent inexploitées, mais l'ouverture du Great Northern Railway du Canada a rendu possible leur utilisation industrielle.

La ville de Three Rivers est ouverte à la navigation maritime pendant huit mois de l'année, et il n'est guère d'autre port de mer au monde où l'on trouve dans un rayon de 50 km., une aussi grande quantité d'énergie utilisable. Une partie de cette énergie a déjà été employée à Grand Mere, distante de 48 km de Three Rivers, où l'eau actionne, sous une charge de 12,20 m une usine à pâte de bois et une papeterie, produisant 100 tonnes de papier et 50 tonnes de pâte par jour.

Mais l'endroit le plus important au point de vue de l'utilisation de cette énergie hydraulique est aux chutes de Shawinigan, dont la hauteur totale, sur une faible distance, est de 43 m. En ce point, le débit normal de la rivière est de 670 m³ par seconde, et l'on peut, aux plus basses eaux obtenir 100000 chevaux. Le canal d'amenée de l'eau aboutit à un mur de tête d'où partent de grosses conduites alimentant l'usine, que le canal de fuite relie à un point de la rivière situé à l'aval des chutes.

Les agrandissements de l'usine de la Niagara Falls Power C°. — D'après un article publié par M. O.-E. Dunlap dans l'*Engineering News* du 5 avril, l'importante usine de Niagara sera dans moins d'un an considérablement agrandie. La Niagara Falls Power C° a en effet traité avec la National Manufacturing C° de New-York pour le creusement d'une seconde fosse à turbine et les travaux sont déjà commencés depuis plusieurs mois. Le *Génie Civil* du 16 juin



dans le but d'obtenir le zinc au four à cuve, emploie deux rangées de tuyères à des hauteurs très différentes ; le départ des vapeurs de zinc se fait entre ces deux étages de tuyères. M. le D[r] Gauthier, qui décrit ce dernier appareil dans le *Portefeuille des Machines d'Oppermann* de juillet 1899, ne donne malheureusement pas de renseignements sur les résultats industriels de cet appareil, où il semble à craindre qu'il reste encore assez d'acide carbonique non transformé en oxyde de carbone pour attaquer le zinc, si oxydable à l'état de vapeur.

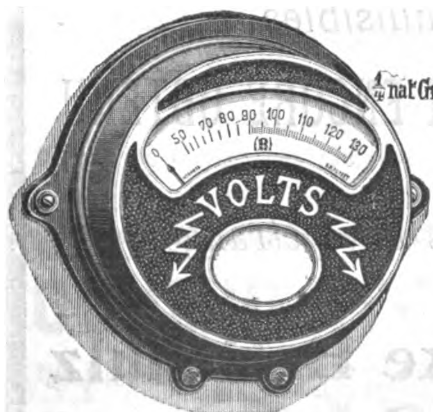
Enfin un procédé qui date de quelques années déjà mais a été, à diverses reprises, modifié, est, depuis quelques mois installé dans une usine d'essai à Angoulême. C'est le procédé Ellershausen destiné à traiter les minerais complexes, semblables à ceux de Broken Hill. On passe le minerai broyé au four à cuve avec des fondants et du coke, et on recueille par coulée des scories et un peu de plomb argentifère ; le reste du plomb et du zinc est distillé ; les métaux vaporisés rencontrent devant le gueulard, de l'eau pulvérisée qui les transforme en sulfates ; ceux-ci passent dans des chambres de condensation, où les poussières se déposent ; les sulfates sont entraînés par de l'eau ruisselant dans les chambres jusqu'à de grands bassins ; le sulfate de plomb se dépose. Quant au sulfate de zinc, il est facile d'en retirer le métal par des procédés divers. Quel est le rendement de ce procédé ? Quelles sont les pertes de métal non sulfatisé ? C'est ce qu'il sera permis de savoir, si l'on publie le résultat d'expériences faites en septembre dernier devant un groupe d'ingénieurs étrangers.

Sur la préparation électrolytique des chlorates. — L'étude de l'électrolyse du sel marin est depuis quelque temps l'objet de nombreux travaux, principalement en Allemagne. Dans une conférence faite le 14 décembre 1899, à Stockholm, devant la Société des Ingénieurs suédois, M. John Landin a fait un historique de la question que le *Mois scientifique et industriel* d'avril résume comme il suit d'après le compte rendu de la conférence publié dans la *Zeitschrift für Electrochemie* du 22 mars 1900 (t. VI, p. 481).

L'industrie des chlorates est une des premières grandes industries électrolytiques ; son importance est très grande en Suède où elle a atteint 953 tonnes en 1897, une valeur de 536 mille couronnes.

8 réactions peuvent se passer suivant qu'on emploie des bains avec ou sans membranes.

1° Electrolyse des chlorures alcalins donnant alcali caustique, chlore et hydrogène ;



chimie en 1899, publié dans les derniers numéros de l'*Electrochimie*, M. Charles Margot consacre les lignes suivantes à l'application du four électrique à la chimie.

La tendance qui se manifeste dans la construction des fours électriques les plus récents est d'obtenir la continuité de la fusion, ou du moins d'utiliser, par un échauffement préalable du matériel, la chaleur fournie par la combustion des gaz provenant de la réduction des oxydes (oxyde de carbone), et d'élever ainsi le rendement économique des procédés de fusion. Ainsi Wood aux Etats-Unis (U. S. A. P. 609,864) construit un four à fabrication du carbure en combinant le régénérateur de Siemens avec le four électrique de manière que l'oxyde de carbone produit dans la réaction serve à maintenir à une température élevée le four, où, sous la forme de briquettes, on introduit les mélanges de chaux et de houille agglomérés avec du goudron ou de l'asphalte. Le four électrique de Bresson et Pacotte (Pat. angl. 2790 — 1897) n'est qu'un autre four à arc de Siemens, combiné de telle sorte, que, par un simple mouvement de bascule, on puisse le vider entièrement. La chaleur emmagasinée dans les parois est ainsi conservée pour une nouvelle fusion. Le four de Palmer et Williams (Pat. angl. 16,029 — 1898) fonctionne avec une résistance d'échauffement ; au préalable, la matière, avant d'être introduite dans le four proprement dit, est chauffée dans une caisse en fer placée au-dessus du four et où se brûlent les gaz provenant de la réduction. Dans le four breveté par Sébillot (D. R. P. 104,108) (*Elek. ch. Zeit.*, t. VI, p. 195) le mélange de chaux et de coke est placé dans une enceinte intérieure, échauffée par la combustion des gaz.

Un système de travail continu a fait l'objet d'un brevet pris par Roberts (D. R. P. 100,476) (*Elek. ch. Zeit.*, t. VI, p. 39) ; il est caractérisé par un déplacement continu de la sole du four sur laquelle on place le mélange de chaux et de houille. Le courant qui provoque la fusion des substances est amené par des électrodes placées latéralement des deux côtés de la partie mobile. Le procédé de Wekner et Kandler (D. R. P. 103,058) (*Elek. ch. Zeit.*, t. VI, p. 127) utilise un four dont le foyer horizontal peut tourner sur lui-même ; sur celui-ci on place en couches séparées les matières à soumettre à la température de fusion de l'arc électrique. Dans le système de four électrique de Wilson, Munna, Unger, Schneckloth et Kuckel (D. R. P. 103,587) (*Elek. ch. Zeit*, t. VI, p. 173) le mélange de chaux et de coke est comprimé sous forme de baguettes que l'on introduit dans le four par des ouvertures tubulaires disposées de telle sorte que, pendant le fonctionnement de l'arc, on puisse au fur et à mesure de la fusion introduire de nouvelles charges. La marche de ce four est par conséquent tout à fait continue.

Le principe de l'échauffement par résistance a été mis en pratique dans un certain nombre de nouveaux fours. Ainsi le four électrique de Maxim (D. R. P. 100,477) est alimenté par des courants polyphasés (*Elek. ch. Zeit.*, t. VI, p. 39). A cet effet, une électrode en charbon qui sert de prise de courant commune aux courants polyphasés est reliée à des électrodes de charbon en nombre égal à celui des phases du courant, lequel porte au rouge une série de résistances en fil fin. Un nouveau four de Maxim (Pat.

angl. 4,075 — 1898) est construit de façon semblable, mais ici la résistance d'échauffement qui sert au début de l'opération de la fusion électrique est un noyau de granules de charbon faisant pont entre les électrodes. A mesure que le carbure prend naissance, on éloigne graduellement les électrodes jusqu'à l'obtention d'un bloc de carbure homogène situé au milieu de la matière non transformée.

Un principe analogue a guidé les inventeurs dans la construction de nouveaux fours, citons ceux de Crees et Durban (Pat. angl. 26,880 — 1897) et de la « Société des Carbures Métalliques » (D. R. P. 101,032). En ce qui concerne les dispositions mécaniques, il nous faut signaler le four de Mayer (D. R. P. 101,131) (*Elek. ch. Zeit.*, t. VI, p. 81) caractérisé par le fait que d'un seul coup de levier on peut enlever du four la plaque servant de sole et couper en même temps l'arrivée du courant. Le four électrique de Pattens (D. R. P. 101,690) (*Elek. ch. Zeit. Eclairage électrique*, t. XV, n° 19) a des électrodes concentriques, entre lesquelles jaillit l'arc électrique, auquel un mouvement de rotation est imprimé par un champ tournant créé à l'intérieur, dispositif qui permet, selon l'inventeur, de mieux distribuer la chaleur dans toute la masse de carbure. Hanckopp (*Zts. f. Anzew. Chem.*, 1899, p. 592) préconise l'emploi du charbon de bois pour la fabrication du carbure. A la suite d'analyses d'acétylène ainsi produit, l'auteur trouve qu'il contient infiniment moins d'hydrogène phosphoré d'acide sulfureux que l'acétylène préparé avec le coke. D'après Sebalt, l'addition de zinc et d'étain au mélange de chaux et de coke a pour effet d'activer énormément la rapidité de production du carbure, par suite de l'augmentation de la conductibilité qui fait que la chaleur se propose non seulement plus régulièrement dans la masse, mais rend cette dernière plus fluide (D. R. P. 103,367) (*Elek. ch. Zeit.*, t. VI, p. 127). Gin et Leleux ont traité la question de l'arc électrique dans les mélanges de chaux et de carbone (*Elek. ch. Zeit.*, t. VI, p. 36). Au Congrès de l'acétylène à Budapest, Liebetanz a entretenu les congressistes sur le prix de revient de la tonne de carbure selon les divers modes d'exploitation, force motrice naturelle, etc.

A côté de la fabrication de carbure de calcium, nous devons mentionner la fabrication récente de toute une série de produits pyrochimiques. Ainsi Bradley et Jacobs en Angleterre (Pat. angl. 10290, 1898) fabriquent simultanément le phosphore et le carbure de calcium en mélangeant des phosphates tricalciques au charbon en proportions telles que le calcium passe entièrement à l'état de carbure de ce métal et que le phosphore se sépare de même complètement.

Moissan (*Comptes rendus*, t. CXXVIII, p. 787) a produit le phosphure de calcium cristallisé par la réduction du phosphate tricalcique au four électrique en limitant la durée de l'opération, autrement le phosphore distille et il se forme du carbure de calcium. A. Renault (*Comptes rendus*, t. CXXVIII, p. 883) a pu de même faire le phosphure de calcium en soumettant à l'arc électrique, dans un creuset de charbon, un mélange de coke, de pétrole et de phosphate de chaux. Les phosphures métalliques se forment, d'après Meyer (D. R. P. 105834), par l'électrolyse au four électrique des phosphates en employant des électrodes en carborundum, en carbide, en fer magnétique ou en ferrosilicium. Par l'échauffement du coke de pétrole en présence du phosphate de cuivre, Maronneau (*Comptes rendus*, t. CXXVIII, p. 936) a obtenu au four électrique un mélange de cuivre et de phosphure de cuivre dont on peut isoler par traitement électrolytique qui enlève le cuivre pur, une combinaison Cu_2P.

Lebeau (*Comptes rendus*, t. CXXVIII, p. 95) a isolé l'arséniure de calcium au four électrique en partant de l'arséniate de chaux et du charbon. De Chalmot (*Journ. of the Amer. Ch. Soc.*, t. XXI, p. 59) a réussi à produire le siliciure de fer à forte teneur de silicium (46,50 p. 100) au four électrique. Lebeau (*Comptes rendus*. t. CXXVIII, p. 933), de même, obtient un siliciure de fer en chauffant le cuivre siliceux avec des tournures de fer. Vigouroux (*Comptes rendus*, t. CXXVII, p. 393), en fondant l'oxyde de tungstène avec du silicium, produit la combinaison de siliciure de tungstène (Wo_2Si_3). Williams, de même un carbure double de fer et de tungstène par la fusion au four électrique d'acide tungstique, de fer pulvérisé et de coke de pétrole (*Comptes rendus*, t. CXXVII, p. 140). Pour finir, Mourlot (*Comptes rendus*, t. CXXVII, p. 180 et 408) obtient, à l'état cristallisé, les sulfites de strontium, de calcium et de magnésium en soumettant à l'action de l'arc électrique les sulfites amorphes ou un mélange de sulfate et de charbon.

L'emploi de l'acétylène dans les moteurs à gaz. — Nous avons signalé à plusieurs reprises les essais faits en France pour l'application de l'acétylène à la production de la force motrice. Dans le *Feilden's Magazine* de décembre 1899 (t. I, p. 560-565), M. Frederick Grover décrit les recherches qu'il a entreprises sur ce sujet. En voici les principaux résultats ;

1° Les pressions développées sont de 2 à 3 fois plus grandes avec un mélange tonnant à l'acétylène qu'avec un mélange tonnant au gaz d'éclairage contenant ce dernier gaz dans les mêmes proportions.

2° Des mélanges très pauvres d'acétylène et d'air donnent de plus fortes pressions que des mélanges riches de gaz de houille et d'air.

3° La durée de l'inflammation est plus faible qu'avec du gaz de houille.

L'auteur conclut qu'au point de vue thermique, l'emploi de l'acétylène pourra présenter des avantages sérieux et qu'au point de vue mécanique on pourra arriver assez facilement à surmonter les petites difficultés qui se présentent dans la construction d'un bon moteur à acétylène. Mais, au point de vue économique il admet que l'acétylène ne peut lutter avec les autres gaz car en comptant le carbure de calcium à 500 fr. la tonne, la dépense est de 0,25 fr. par cheval-heure indiqué.

Tome XXIII | Samedi 30 Juin 1900. | 7e Année. — N° 26.

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

SOMMAIRE

Adresser tout ce qui concerne la Rédaction à M. J. BLONDIN, 171, Faubourg-Poissonnière (9e arrondissement).

BREVETS D'INVENTION

BF : Brevet français. — BP : Patente anglaise — DRP : Patente allemande — USAP : Patente américaine.

La liste des brevets français est communiquée par l'Office E. Barrault, 17, Boulevard de la Madeleine, Paris.

Dynamos et moteurs.

Machines électrostatiques. — Wagner (R.-V.). 650141, USAP, 19 novembre 1899. Machine électrostatique à influence.

Mohlenbruck et Schmid. 295449, BF, 20 décembre 1899. Perfectionnements aux machines électriques.

Belloni. 295776, BF, 30 décembre 1899. Perfectionnements dans la construction des machines électriques.

Machines dynamos. — Statter. 9278, BP, 1899. Dynamo.

Robison. 20328, BP, 1899. Dynamo et transformateur.

Robinson (E.-W.). 648529, USAP, 8 octobre 1898. Machine dynamo électrique.

Hurrell. 296865, BF, 5 février 1900. Perfectionnements relatifs aux machines dynamo-électriques.

Contal et Gasnier. 297332, BF, 17 février 1900. Perfectionnements aux machines dynamo-électriques.

Compagnie française pour l'exploitation des procédés Thomson-Houston. 295786, BF, 30 décembre 1869. Perfectionnements apportés aux machines dynamo-électriques.

J. Heubach. 110700, DRP, 28 avril 1899. Machine unipolaire à courant continu.

Compagnie française pour l'exploitation des procédés Thomson-Houston. 295186, BF, 12 décembre 1899. Perfectionnements apportés aux dynamos excitatrices.

Lyndon (L.). 648874, USAP, 22 novembre 1899. Sous-volteur pour système de distribution.

Foshag (John A.). 649574, USAP, 21 décembre 1899. Dispositif pour la fixation des noyaux d'armature.

Heidel (G.). 650246, USAP, 18 septembre 1899. Armature de dynamo.

Priest (E.-B.). 648052, USAP, 27 janvier 1900. Support de balai.

Sawyer (H.). 649552, USAP, 6 décembre 1899. Support de balais.

Claessen (J.-O.). 647016, USAP, 25 janvier 1900. Régulateur de pression pour balais d'accumulateurs.

Société Sautter, Harlé et Cie. 296963, BF, 7 février 1900. Perfectionnements apportés à la ventilation des machines électriques à courant continu et alternatif.

Hall et Roberson. 295573, BF, 23 décembre 1899. Système de ventilation des électromoteurs, des dynamos et autres machines analogues.

Short (S.-H.). 647585, USAP, 2 novembre 1898. Procédé de compensation des machines électriques multipolaires.

Cooley. 297149, BF, 13 février 1900. Système perfectionné de réglage des machines électriques.

Hewlett (E.-M.). 648493, USAP, 27 octobre 1899. Dispositif de régulation des machines dynamos.

Cooley (W.-H.). 647715, USAP, 28 décembre 1899. Méthode de régulation des machines dynamos.

Black (C.-N.). 650704, USAP, 15 août 1898. Appareil automatique pour la protection des dynamos à enroulement compound.

Camme. 295565, BF, 23 décembre 1899. Perfectionnements dans les générateurs à courant alternatif.

Compagnie française pour l'exploitation des procédés Thomson-Houston. 295602, BF, 26 décembre 1899. Perfectionnements à la construction des alternateurs.

Société anonyme pour la transmission de la force par l'électricité. 13733, BP, 1899. Appareil pour exciter les alternateurs.

Short (S.-H.). 641584, USAP, 1er septembre 1898. Inducteur d'alternateur.

Société anonyme pour la transmission de la force par l'électricité. 110260, DRP, 28 juin 1899. Excitation d'alternateurs synchrones ou asynchrones fonctionnant comme générateur ou comme moteur. Addition au brevet 91571.

Geisenhöner (Henry) et Knight (Ch. D.). 650687, USAP, 10 novembre 1899. Procédé pour obtenir le synchronisme entre deux alternateurs.

Michalke (C.-J.-A.). 649942, USAP, 31 décembre 1899. Synchroniseur pour machines dynomos.

Pearson (J.). 649526, USAP, 3 juillet 1899. Appareil synchronisant de sûreté.

Transformateurs. — Rietzel (A.-F.). 649179, USAP, 23 septembre 1899. Transformateur secondaire.

Helios (E.-A.-G.). 110261, DRP, 16 juillet 1899. Transformateur de courant alternatif en courant continu.

Wydts et Weissmann. 6947, BP, 1899. Méthode et appareil pour transformer un courant continu en courant alternatif ou continu à différents voltages.

Varley (R.). 648446, USAP, 18 décembre 1899. Bobine électromagnétique.

Varley (R.). 649085, USAP, 2 janvier 1900. Bobine électromagnétique.

Varley (R.). 647589. USAP, 21 février 1900. Bobine d'induction.

Willis (H.-E.). 649788, USAP, 14 février 1900. Bobine d'induction.

Bouchacourt. 297420, BF, 20 février 1900. Générateur unipolaire d'induction (système Bouchacourt et Remond).

Moteurs. — Watson (P.-B.). 647210, USAP, 8 mars 1899. Moteur électromagnétique.

Rhodes. 5797, BP, 1899. Moteur d'induction.

Steinmetz (C.-P.). 649 006, U S A P, 16 août 1897. Moteur à courants alternatifs.

The Langdon-Davies Electric Motor C°L'. 110 502, D R P, 16 mai 1899. Moteur alternatif monophasé.

Lamme. 295 564, B F, 23 décembre 1899. Perfectionnements dans les moteurs à induction à courants alternatifs.

Rhodes. 296 976, B F, 8 février 1900. Perfectionnements dans les moteurs à induction à courants alternatifs.

Cochrane (H.). 647 743, U S A P, 15 juin 1899. Combinateur de moteur électrique.

Watson (P.-S.). 649 972, U S A P, 4 octobre 1899. Combinateur pour moteur électrique.

Larson (C.-W.). 649 699, U S A P, 30 mars 1900. Commutateur de moteurs.

Schœller (G.-A.). 650 196, U S A P, 1er février 1900. Commutateur pour moteur électrique.

Perkins. 296 888, B F, 6 février 1900. Perfectionnements aux contrôleurs pour moteurs électriques.

Auvert. 297 322, B F, 17 février 1900. Appareil de démarrage pour moteurs électriques.

Perkins. 8 949, B P, 1899. Appareil de démarrage des moteurs.

Cooper (Wm.). 650 370, U S A P, 24 mars 1900. Appareil pour le démarrage des moteurs.

Kammerhoff (M.). 110 481, D R P, 20 décembre 1898. Appareil de mise en marche automatique pour électromoteur en dérivation.

Leitner. 9 414, B P, 1899. Appareil de régulation des moteurs électriques.

Société Sautter, Harlé et Cie. 296 749, B F, 1er février 1900. Nouveau système d'appareil de mise en marche et de réglage de vitesse pour moteurs électriques.

Berresford (A.-W.) et Wiegand (H.). 650 666, U S A P, 22 mars 1900. Appareil pour le contrôle des moteurs électriques.

Kubierschky (M.-T.-A). 648 696, U S A P, 6 décembre 1899. Méthode de contrôle de moteurs électriques.

Compagnie française pour l'exploitation des procédés Thomson-Houston. 295 606, B F, 26 décembre 1899. Appareil de contrôle pour les moteurs à circuits alternatifs.

Compagnie française pour l'exploitation des procédés Thomson-Houston. 295 185, B F, 12 décembre 1899. Perfectionnements au mode de contrôle des moteurs électriques.

Carl Flohr. 110 671, D R P, 11 décembre 1898. Résistance de régulation de moteur fonctionnant automatiquement ou à la main.

Lamme. 6 690, B P, 1899. Méthode et appareil pour modifier la vitesse des moteurs à courant continu.

Johnson (E.-H). 111 123, D R P, 26 mai 1899. Procédé de changement de vitesse d'un ou plusieurs électromoteurs à enroulement compound.

Compagnie française pour l'exploitation des procédés Thomson-Houston. 295 785, B F, 30 décembre 1899. Système de freinage des moteurs électriques.

Compagnie française pour l'exploitation des procédés Thomson-Houston. 295 427, B F, 19 décembre 1899. Méthode et moyens perfectionnés propres à la synchronisation des moteurs électriques.

Seo (H.). 110 656, D R P, 8 novembre 1898. Fonctionnement et distribution pour électromoteur.

Aktien Gesellschaft Elektricitatswerke (voir O.-L. Kummer et C°). 110 510, D R P, 21 octobre 1898. Système alternatif pour actionner un moteur.

Divers. — Dawson. 295 022, B F, 7 décembre 1899. Accouplement à friction spécialement applicable aux machines électriques, magnétiques ou autres.

Société Combier et Duflos. 296 884, B F, 5 février 1900. Appareils pour le démarrage à vitesses variables pour machines dynamo-électriques.

Vitall. 5 734, B P, 1899. Moteur à gaz pour actionner les machines dynamos et dynamos correspondantes.

Siemens et Halske (A.-G.). 110 281, D R P, 20 avril 1899. Soudure des extrémités des enroulements des machines électriques par immersion et rotation dans un bain de métal fusible.

Piles et accumulateurs.

Piles. — Gottscho (L.). 650 062, U S A P, 19 décembre 1899. Pile thermo-électrique.

Harrison (J.-W.). 648 492, U S A P, 1er septembre 1896. Générateur thermo-électrique.

Blumenberg (H.), Overbury (Fr. et F.-C.). 647 797, U S A P, 24 avril 1899. Pile primaire.

Blumenburg. 649 653, 54, U S A P, 24 avril et 24 septembre 1899. Pile électrique.

Busson (V.-J.). 649 398, U S A P, 18 novembre 1898. Pile électrique.

Charin et Tavernier. 297 252, B F, 1er février 1900. Nouvelle pile électrique.

Girard. 295 223, B F, 13 décembre 1899. Perfectionnement aux piles électriques.

Hess (H.-K), Shinn (A.-J.) et Hering (C.). 649 840-41, U S A P, 6 décembre 1899. Pile primaire à éléments régénérables.

Jungner. 7 892, B P, 1899. Pile.

Leclanché, 297 300, B F, 17 février 1900. Perfectionnements dans la fabrication des piles primairds.

Leclanché. 297 301, B F, 17 février 1900. Nouvelle pile sèche.

Maubec. 296 004, B F, 9 février 1900. Pile électrique domestique Léon Maubec.

Platt (C.-M.). 649 349-50, U S A P, 29 juillet 1899. Pile électrique.

Rawson (S.). 650 274, U S A P, 19 juin 1899. Pile à électrodes fondues.

Société d'étude des piles électriques. 8 512, B P, 1899. Pile.

Curtis (F.-G.). 650 305, U S A P, 21 août 1899. Liquide pour pile électrique.

Pichat. 295 252. B F, 14 décembre 1899. Nouveau sel excitateur et dépolarisant pour piles électriques.

Henrion. 299 998, B F, 8 février 1900. Charbons électriques polis.

Smith (S.-E.). 647 536, U S A P, 17 avril 1899. Support d'électrodes négatives de pile.

Accumulateurs. — Barhoff (F.-W.). 650 219, U S A P, 29 juillet 1899. Accumulateur.

Clare (J.-P.). 650 808, U S A P, 22 novembre 1899. Accumulateur.

Cheval et Lindeman. 2 077, B P, 1900. Accumulateur.

Coleman (C.-J.). 647 442, U S A P. 2 octobre 1899. Accumulateurs.

Daskkink et Brandes. 295 505, B F, 22 décembre 1899. Accumulateur.

Garcia (L.-G.). 649 295, U S A P, 11 décembre 1897. Accumulateur.

Gladstone (H.-S.). 647 085, U S A P, 2 janvier 1900. Accumulateur.

Marino. 11 424, B P, 1899. Accumulateur.

Marino. 25 491. B P, 1899. Accumulateur.

Niblatt et Sutherland. 9 456, B P, 1899. Accumulateur.

Prestwich. 6 873, B P, 1899. Accumulateur.

Priess Electric Storage Syndicate Ltd. 7 479, B P, 1899. Accumulateur.

Sperry (E. A.). 649 491, U S A P, 20 septembre 1899. Accumulateur.

Strecker. 9 351, B P, 1899. Accumulateur.

Welford. 8 522, B P, 1899. Accumulateurs.

Kitsee (I). 650 014, U S A P, 3 juillet 1899. Accumulateur pour automobile.

Perry (D.-P.). 650 417, U S A P, 28 avril 1899. Accumulateur portatif.

Renaud. 295 006, B F, 6 décembre 1899. Nouvel accumulateur électrique.

Monnier. 294 995, B F, 6 décembre 1899. Perfectionnements aux piles secondaires.

Weymersch. 297 345, B F, 19 février 1900. Perfectionnement dans la fabrication des accumulateurs électriques.

Schlomann et de Castro. 295 499, B F, 21 décembre 1899. Accumulateur électro-mécanique.

Heimel (F.). 650 247, U S A P, 7 juin 1898. Plaque d'accumulateur.

Macral (R.). 647 752, 3, 4, U S A P, 24 avril et 17 novembre 1899. Plaque d'accumulateurs.

Majert (W.). 650 258, U S A P, 19 décembre 1899. Plaque d'accumulateur.

Pumpelly (J.-R.). 649 950, U S A P, 19 juillet 1898. Plaque d'accumulateur.

Salom (P.-G.). 647 426, U S A P, 1er novembre 1899. Plaques d'accumulateurs.

Sperry (E.-A.). 649 998, U S A P, 30 septembre 1899. Plaque d'accumulateur.

Beckmann (H.). 110 228, D R P, 20 mai 1899. Procédé de fabrication d'une couche stable de peroxyde de plomb sur les électrodes d'accumulateurs.

Crozet. 296 934, B F, 5 février 1900. Perfectionnements dans les électrodes d'accumulateurs électriques.

Belmont (A.). 648 141 U S A P, 26 juillet 1899. Support de plaques d'accumulateurs inoxydables.

Chamberlain (R.-M.). 647 177, U S A P, 19 août 1899. Récipient pour accumulateurs.

Sperry (E.-A.). 649 003, U S A P, 7 octobre 1899. Enveloppe pour batterie d'accumulateurs.

Worms. 295 387, B F, 18 décembre 1899. Joint étanche pour couvercles de bacs d'accumulateurs électriques.

Condict (G.-H.). 647 251 U S A P, 30 juillet 1898. Suspension de batteries d'accumulateurs pour automobiles.

Atwood (G.-F.). 649 390. U S A P, 7 juin 1899. Connecteur de piles et d'accumulateurs.

Cooper et Ridley. 5 100, B. P, 1899. Méthodes pour charger les accumulateurs.

Distribution

Baird (M.-I.). 650 551, U S A P, 1 décembre 1899. Système de distribution électrique.

Behrend (O.). 648 318, U S A P, 28 décembre 1897. Système de distribution électrique.

Belfield (R.). 110 649, D R P, 31 août 1897. Système de distribution d'énergie électrique.

Compagnie Française pour l'Exploitation des Procédés Thomson-Houston. 295 425, B F, 19 décembre 1899. Système perfectionné de distribution électrique.

Compagnie Française pour l'Exploitation des Procédés Thomson-Houston. 295 605, B F, 26 décembre 1899. Système perfectionné de distribution électrique.

Emmet (W.-L.-R.). 648 489, U S A P, 10 mars 1899. Sysième de distribution.

Erickson (F.-W.). 649 572, U S A P, 24 février 1900. Procédé de distribution de l'énergie électrique.

Reed. 297 266, B F, 16 février 1900. Perfectionnement apporté aux systèmes de distribution d'électricité isolés à courants alternatifs de basse pression.

Reed (Lyman Coleman), Reed (Warren Bettison) et Farrar. 297 264, B F, 16 février 1900. Perfectionnement dans les systèmes de distribution électrique, et appareil de protection s'y appliquant.

Stillwell. 295 579, B B, 23 décembre 1899. Perfectionnements aux systèmes de distribution et coupe-circuits électriques.

Lamme. 9 523, B P, 1899. Distribution de courant électrique.

Compagnie Française pour l'Exploitation des Procédés Thomson-Houston. 295 428, B F, 19 décembre 1899. Perfectionnements dans les moyens de contrôle des courants alternatifs.

Bedell (F.). 647 175, U S A P, 22 mai 1899. Transmission d'impulsion électrique.

Braun. 5 104, B P, 1899. Renforcement des ondes électriques et diminution des pertes par réflexion au moyen d'un condensateur.

Compagnie française pour l'exploitation des procédés Thomson-Houston. 295 181, B F, 12 décembre 1899. Moyen perfectionné de protection des générateurs dans les installations de transmissions électriques.

Guarini-Foresio. 295 566, B F, 23 décembre 1899. Transmission de l'énergie électrique par l'éther.

Tesla (N.). 649 621, U S A P, 9 février 1900. Appareil pour la transmission de l'énergie électrique.

Appareillage.

Allemann (T.). 647 783, U S A P, 2 novembre 1899. Commutateur.

Cross (E.). 647 254, U S A P, 6 décembre 1899. Commutateur centrifuge.

Chamberlain (R.-M.). 648 144, U S A P, 20 novembre 1899. Commutateur pour circuit alimenté par les accumulateurs.

Dick (E.). 110 765, D R P, 12 septembre 1899. Commutateur automatique à cinq enroulements.
Ely. 295 158, B F, 12 décembre 1899 ; 24 739, B P, 1899, 648 555, U S A P, 19 février 1897 ; 649 199, U S A P, 28 avril 1898. Commutateur.
Fuller (R.). 650 582, U S A P, 27 octobre 1899. Commutateur.
Grivolas (fils). 295 541, B F, 22 décembre 1899. Dispositif permettant d'obtenir dans un commutateur avec coupe-circuit la rupture mécanique d'un nombre quelconque de circuits couplés ensemble lors de la fraction d'un plomb.
Gunther (J.-I.). 647 829, U S A P, 4 octobre 1899. Commutateur.
Hanson (A.). 648 951, U S A P, 31 mai 1899. Commutateur.
Heller (J.-B.). 650 010, U S A P, 23 septembre 1899. Commutateur.
Hoffmann (T.). 647 492, U S A P, 5 décembre 1899. Commutateur électromagnétique.
Jones (W.-F.). 647 414, U S A P, 6 février 1900. Commutateur.
Lippelt (H.). 110 501, D R P, 14 mai 1899. Commutateur rapide à tambour tournant.
Loomis (O.-P.). 649 105, U S A P, 13 février 1899. Commutateur automatique pour l'éclairage au moyen d'accumulateurs.
Perkins (C.-G.). 650 416, U S A P, 17 janvier 1900. Commutateur.
Ruhstrat (frères). 111 085, D R P, 19 février 1899. Commutateur automatique.
Schoeffel (G.-J.). 111 008, D R P, 8 décembre 1897. Commutateur.
Schwedtmann (F.). 649 554, U S A P, 8 avril 1899. Commutateur.
Sessions (F.-L.). 649 767, U S A P, 5 septembre 1899. Commutateur.
Stubenrauch (H.-F.). 648 118, U S A P, 6 février 1900. Commutateur.
Voigt et Haeffner. 11 552, B P, 1899. Commutateur.
Wade (E.-J.). 650 119, U S A P, 8 mars 1900. Commutateur.
Norris (A.-E.). 649 644, U S A P, 16 septembre 1899. Combinateur.
Zweigbergck (Von). 10 228, B P, 1899. Combinateur.
Alleman (T.). 647 456, U S A P, 4 décembre 1899. Coupe-circuit automatique à maxima.
Clark (C.-A.). 648 850, U S A P, 28 juin 1898. Coupe-circuit.
Groome. 16 494, B P, 1899. Coupe-circuit automatique.
Pettet (Eliza). 649 527, U S A P, 14 novembre 1899. Coupe-circuits.
Reed. 297 265, B F, 16 février 1900. Coupe-circuit automatique.
Schuckert et C°. 111 150, D R P, 29 janvier 1899. Coupe-circuit.
Scott (W.-M.). 650 425, U S A P, 31 janvier 1898. Coupe-circuit électromagnétique automatique.
Steele. 296 891, B F, 6 février 1900. Dispositif perfectionné de mise à la terre ou coupe-circuits pour l'emploi dans les circuits électriques.
Davis (H.-Ph.). 111 122, D R P, 3 mai 1899. Coupe-circuit fusible.
Downes (L.-N.). 650 602, U S A P, 18 octobre 1890. Coupe-circuit fusible.
Quelch (G.-C.). 648 710, U S A P, 10 octobre 1899. Coupe-circuit fusible.
Cante. 295 412, B F, 19 décembre 1899. Appareil de sûreté à plomb fusible pour conducteurs électriques.
Dulait et Garbe. 295 521, B F, 22 décembre 1899. Construction perfectionnée de résistance électrique sous forme de plateaux.
Société Ch. Milde fils et M. Courtant. 297 109, B F, 12 février 1900. Dispositif facilitant le remplacement des plombs fusibles dans les coupe-circuits.
Scott. 10 163, B P, 1899. Interrupteur.

Radiographie ✱ *Radioscopie*

NOUVEAU TRANSFORMATEUR A HAUTE TENSION

BREVETÉ S. G. D. G. (FRANCE ET ÉTRANGER)

TÉLÉPHONE 523-62 ✣ **O. ROCHEFORT** ✣ **Rue Capron, 4 PARIS**

INGÉNIEUR DES ARTS & MANUFACTURES

TRANSFORMATEURS ORDINAIRES, INTENSIFS, UNIPOLAIRES

Ces transformateurs à haute tension peuvent remplacer dans tous les cas les bobines de Rhumkorff, avec une consommation d'électricité **cinq fois moindre.**

Interrupteur à mercure oscillant à mouvement rectiligne par guide liquide (Breveté S. G. D. G.)

INTERRUPTEUR CUIVRE SUR CUIVRE

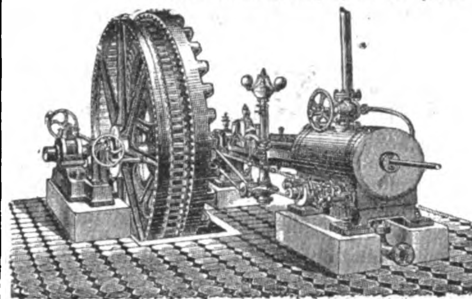
Installation complète pour Laboratoires de Radiographie et Radioscopie médicales

Catalogue franco sur demande.

Transformateurs, Compteurs, etc.

NOUVELLE DYNAMO-VOLANT

Courants alternatifs, spéciale pour **les éclairages de villes et à longues distances**



Compagnie Électrique O. PATIN

9, rue du Château, Puteaux (Seine).

La maison vient d'établir un nouveau type de DYNAMOS s'attelant directement sur le moteur et remplaçant le volant

Vitesse : 120 tours à 60 tours seulement par minute.

Sécurité remarquable, par suite de la suppression des transmissions, cordes et courroies.

STATIONS CENTRALES ÉTABLIES AVEC LE MATÉRIEL DE LA MAISON

Paris (station municipale des Halles au concours), Nancy, Rethel, le Havre, Troyes, Sens, Melun, Nimes, Cannes, Auxerre, Dijon (nouvelle usine), Poitiers (nouvelle usine), Saint-Céré, Saint-Jean-de-Royan, Revel, Auterive, Vierzon : *Représentant 183.000 lampes installées en 3 ans.*

Machines et Moteurs à courants continus, Machines triphasées, etc.

Tramways électriques.

COMPAGNIE ÉLECTRIQUE PARISIENNE

Siège social : 44, rue du Louvre

BUREAUX ET ATELIERS

23, avenue Parmentier, 23

LAMPES A ARC PERFECTIONNÉES, MODÈLES 1898-99

PLUS DE **15,000** VENDUES

Lampes pouvant marcher par 3 en tension sur 110 volts

Brevets KLOSTERMANN



FOURNISSEURS

DES MINISTÈRES DE LA GUERRE ET DE LA MARINE

DES ARSENAUX, DES STATIONS CENTRALES

DES GRANDS ÉTABLISSEMENTS INDUSTRIELS

Catalogue franco sur demande. Téléphone 900-28

CHEMINS DE FER D'ORLÉANS

Excursions en Touraine,

AUX

Châteaux des Bords de la Loire

ET AUX STATIONS BALNÉAIRES

DE LA

Ligne de Saint-Nazaire au Croisic et à Guérande

1er Itinéraire.

1re classe : **86** francs. — 2e classe : **63** francs.

DURÉE : 30 JOURS.

Paris, Orléans, Blois, Amboise, Tours, Chenonceaux, et retour à **Tours, Loches,** et retour à **Tours, Langeais, Saumur, Angers, Nantes, Saint-Nazaire, Le Croisic, Guérande** et retour à **Paris,** via **Blois** ou **Vendôme,** ou par **Angers** et **Chartres,** sans arrêt sur le réseau de l'Ouest.

2e Itinéraire.

1re classe : **54** francs. — 2e classe : **41** francs.

DURÉE : 15 JOURS.

Paris, Orléans, Blois, Amboise, Tours, Chenonceaux, et retour à **Tours, Loches,** et retour à **Tours, Langeais** et retour à **Paris,** via **Blois** ou **Vendôme.**

Les voyageurs porteurs de billets du premier itinéraire auront la faculté d'effectuer sans supplément de prix, soit à l'aller, soit au retour, le trajet entre Nantes et Saint-Nazaire dans les bateaux de la Compagnie de la Basse-Loire.

La durée de validité du premier de ces itinéraires peut être prolongée d'une, deux ou trois périodes successives de 10 jours, moyennant paiement, pour chaque période, d'un supplément égal à 10 p. 100 du prix primitif du billet.

BILLETS DE PARCOURS SUPPLÉMENTAIRES

Il est délivré, de toute station du réseau pour une autre station du réseau située sur l'itinéraire à parcourir, des billets aller et retour de 1re et de 2e classe au prix réduits du Tarif spécial **G. V. n° 2.**

Thomson (E.) et Shand (R.). 649 015, U S A P, 8 mars 1900. Interrupteur.

Compagnie française pour l'exploitation des procédés Thomson-Houston. 295 180, B F, 12 décembre 1899. Perfectionnements aux interrupteurs électriques à haute tension.

Compagnie française pour l'exploitation des procédés Thomson-Houston. 295 610, B F, 26 décembre 1899. Perfectionnements aux interrupteurs automatiques des circuits électriques.

Société dite : Auto-protective appliances C°. 294 956, B F, 5 décembre 1899. Système perfectionné de bouton d'appel électrique à dispositif thermostatique.

Riker (A.-L.). 110 764, D R P, 8 décembre 1898. Disjoncteur électromagnétique.

Élektricitats aktien Gesellschaft v. Schuckert et C°. 110 310, D R P 22 novembre 1898. Disjoncteur pour résistance inductive.

Compagnie française pour l'exploitation des procédés Thomson-Houston. 295 429, B F, 19 décembre 1899. Système perfectionné de disjoncteur électrique

Fowler (H.-H.) et Pack. (W.). 648 939, U S A P, 29 décembre 1899. Conjoncteur thermique.

Chapmann (W.-M.). 647 291, U S A P, 10 août 1899. Changeur de pôles.

Wurts (A.-J.). 649 388, U S A P, 8 juin 1899. Parafoudre.

Flohr (C.) et Dietze (R.). 649 937, U S A P, 3 juillet 1899. Rhéostat.

Bachmann (J.-F.) et Vogt (A.). 648 892, U S A P, 19 décembre 1899. Résistances électriques.

Berresford (A.-W.). 648 481, U S A P, 9 novembre 1899. Résistance électrique.

Luton (J.-T.). 647 723, U S A P, 10 octobre 1899. Régulateur amortisseur automatique.

Chapman (W.-H.). 648 388, USAP, 23 février 1900. Régulateur de voltage.

Stevens (L.). 650 430, USAP, 28 octobre 1899. Contrôleur de courant électrique.

Waters (A.-L.). 650 057, USAP, 2 août 1899. Contrôleur pour circuit électrique.

Partridge and London Electric Supply Corporation (Ltd), 8 240 BP, 1899. Dispositif de sûreté pour système de distribution.

Thompson (E.). 647 168, USAP, 18 janvier 1899. Dispositif de sécurité pour circuits électriques.

Hadaway (W.-S.). 649 726, USAP, 26 janvier 1898. Procédé pour éviter l'échauffement des conducteurs électriques.

Thomson. 295 221, BF, 13 décembre 1899. Perfectionnements dans les fiches de connexion ou chevilles de commutateurs pour tableaux de distribution électriques.

Baird (M.-I.). 650 550, USAP, 25 août 1899. Câble électrique.

Brown W.-M.) et Mc Featers (G.-H.), 647 471, USAP, 23 août 1899. Connecteur de câbles.

Reason and Mutual Électric Trust (Ltd.). 8 957, BP, 1899. Dispositif de connexion pour conducteurs.

Mc Carthy (L.). 650 113, USAP, 9 mars 1899. Manchon isolant pour jonction de câbles.

Prouty (G.-W.). 650 115, USAP, 27 avril 1899. Manchon isolant pour jonction de câbles.

Gerard (W.). 649 542, USAP, 21 février 1990. Coupleur de fils.

Stewart (C.-H.). 650 432, USAP, 12 janvier 1900. Boite de jonction.

Kronenberg (C.-J.). 648 501, USAP, 12 octobre 1899. Support de fils aériens.

Cope (T.-J.). 647 945, USAP, 2 février 1900. Support pour conducteur électrique.

Zertuche (E.). 650 445, USAP, 28 octobre 1899. Isolateur.

Petersen. 16 650, BP, 1899. Conduite de câbles électriques.

Jungbluth. 9 966, BP, 1899. Conduit tubulaire pour la protection des câbles.

Earle. 1 309, BP, 1900. Tube en alliage métallique pour conducteurs électriques.

Scott, Varleg et Anderson. 296 722, BF: 31 janvier 1900. Nouveau genre d'enroulement aux hélicoïdes destinés à être employés en électricité.

Scott, Varley et Anderson. 296 723, BF, 31 janvier 1900. Méthode d'enroulement des fils métalliques en hélicoïdes en vue de leur emploi en électricité.

Frank. 297 241, BF, 15 février 1900. Procédé de fabrication de matières isolantes pour conducteurs électriques.

De Mare et Fremy, 297 008, BF, 9 février 1900. Application de la stéalite comme isolant électrique.

Société française de l'Ambroine, 295 479, BE, 21 décembre 1899. Perfection dans la fabrication de matières isolantes par l'emploi de l'huile d'elacoca ou autres huiles végétales.



